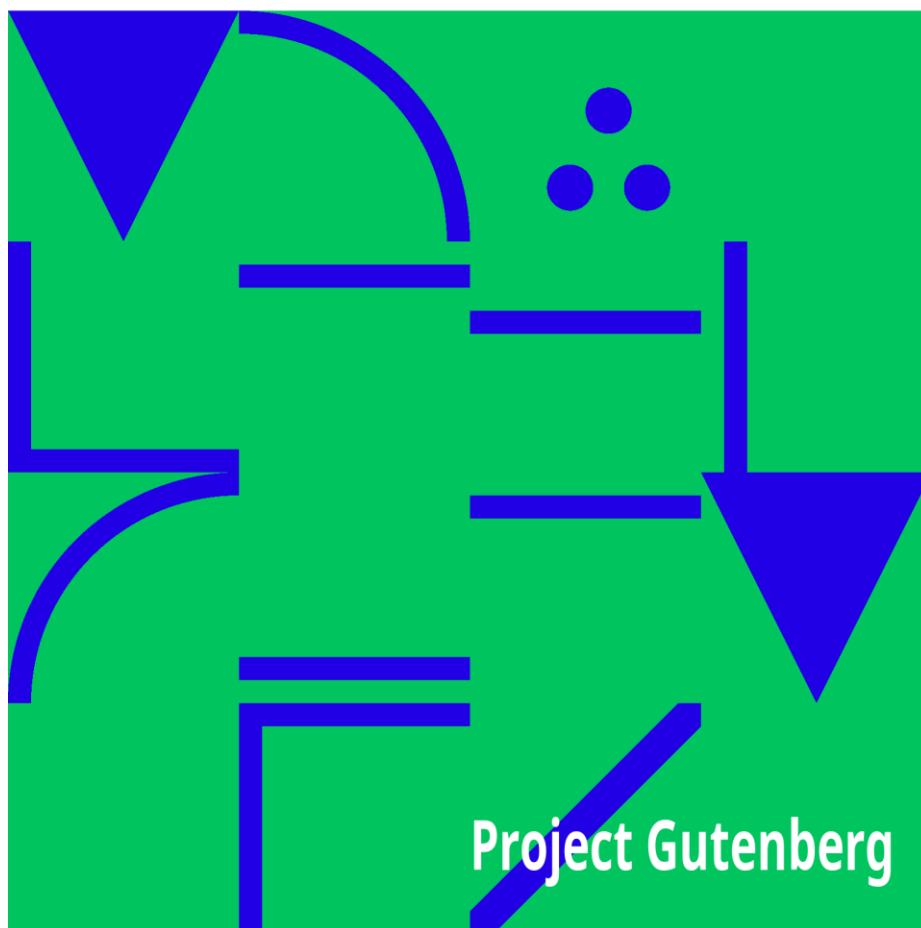


Шесть лекций о свете, прочитанных в Соединенных Штатах в 1872-1873 годах

Джон Тиндалл

Six Lectures on Light

John Tyndall



Электронная книга проекта "Гутенберг" из шести лекций о свете

Эта электронная книга предназначена для использования любым человеком в любой точке Соединенных Штатов и большинства других частей мира бесплатно и практически без каких-либо ограничений. Вы можете скопировать его, раздать или повторно использовать в соответствии с условиями лицензии Project Gutenberg, прилагаемой к этой книге, или онлайн по адресу www.gutenberg.org. Если вы находитесь за пределами Соединенных Штатов, вам необходимо ознакомиться с законами страны, в которой вы находитесь, прежде чем использовать эту электронную книгу.

Название: Шесть лекций о свете

Автор: Джон Тиндалл

Дата выхода: 10 ноября 2004 г. [Электронная книга № 14000]

Последнее обновление: 28 октября 2024 г.

Язык: Английский

Титры: Продюсерами выступили Клэр Бутби, Стивен Шульце и команда корректоров PG Online

.

*** НАЧАЛО ПРОЕКТА "ЭЛЕКТРОННАЯ КНИГА ГУТЕНБЕРГА" ШЕСТЬ ЛЕКЦИЙ О СВЕТЕ " ***

ШЕСТЬ ЛЕКЦИЙ О СВЕТЕ

ПОСТАВЛЕН В СОЕДИНЕННЫХ ШТАТАХ В 1872-1873 ГОДАХ

АВТОР ДЖОН ТИНДАЛЛ, D.C.L., LL, D. F.R.S.

ПОКОЙНЫЙ ПРОФЕССОР НАТУРФИЛОСОФИИ В КОРОЛЕВСКОМ ИНСТИТУТЕ
ВЕЛИКОБРИТАНИИ



Thomas Young

Лондон: Longmans & Co.

ШЕСТОЕ ВПЕЧАТЛЕНИЕ

ЛОНГМАНС, ГРИН И КОМПАНИЯ

ПАТЕРНОСТЕР-РОУ, 39, ЛОНДОН

НЬЮ - ЙОРК И БОМБЕЙ

1906

ПРЕДИСЛОВИЕ К ЧЕТВЕРТОМУ ИЗДАНИЮ.

В этих Лекциях я стремился прояснить сложную, но глубоко интересную тему. Моей целью было не только описать и проиллюстрировать в знакомой манере основные законы и явления света, но и указать на происхождение и показать применение теоретических концепций, которые лежат в основе и объединяют целое и без которых невозможна никакая реальная интерпретация.

Лекции, как указано на титульном листе, были прочитаны в Соединенных Штатах в 1872-3 годах. У меня до сих пор сохранились яркие и благодарные воспоминания о сердечности, с которой они были приняты.

Мои сфера применения и цель кратко указаны в "Резюме и заключении", которое, как рекомендовалось в предыдущем издании, вполне уместно читать как введение к книге.

ДжейТи

АЛЬП ЛУСГЕН: октябрь 1885 года.

Содержание.

ЛЕКЦИЯ I.

- Вводный
- Использование эксперимента
- Ранние научные представления
- Науки о наблюдении
- Знания древних о Свете
- Дефекты зрения
- Наши Инструменты
- Прямолинейное распространение света
- Закон падения и отражения
- Стерильность средневековья
- Преломление
- Открытие Снелла

- Частичное и полное Отражение
- Скорость света
- Ремер, Брэдли, Фуко и Физо
- Принцип наименьшего действия
- Декарт и Радуга
- Эксперименты Ньютона о составе солнечного света
- Его Ошибка относительно Ахроматизма
- Синтез белого света
- Желтый и синий огни при их смешении дают белый цвет
- Цвета природных Тел
- Поглощение
- Смесь пигментов контрастирует со Смесью источников света

ЛЕКЦИЯ II.

- Происхождение физических теорий
- Размах воображения
- Ньютон и теория излучения
- Проверка физических теорий
- Светоносный Эфир
- Волновая теория света
- Томас Янг
- Френель и Араго
- Концепция волнового движения
- Интерференция волн
- Строение звуковых волн
- Аналогии звука и света
- Иллюстрации волнового движения
- Интерференция звуковых волн
- Оптические иллюстрации
- Высота звука и цвет
- Длины световых волн и скорости вибрации
- Эфирные частицы
- Интерференция света
- Явления, которые впервые предложили Волновую теорию
- Бойль и Гук
- Цвета тонких пластин
- Мыльный пузырь
- Кольца Ньютона
- Теория "Припадков"

- Его объяснение Колец
- Опровержение теории
- Дифракция света
- Цвета, получаемые в результате дифракции
- Цвета перламутра.

ЛЕКЦИЯ III.

- Отношение теорий к опыту
- Происхождение понятия о притяжении
- Понятие полярности, как оно генерируется
- Атомная полярность
- Структурное расположение из-за полярности
- Архитектура кристаллов рассматривается как введение в их
- Воздействие на Свет
- Понятие атомной полярности применительно к кристаллической структуре
- Экспериментальные иллюстрации
- Кристаллизация воды
- Расширение под действием тепла и холода
- Рассмотрено и объяснено поведение воды
- Влияние кристаллизации на оптические явления
- Преломление
- Двойное преломление
- Поляризация
- Действие турмалина
- Характер балок, образующихся из исландского шпата
- Поляризация за счет обычного преломления и отражения
- Деполяризация.

ЛЕКЦИЯ IV.

- Хроматические явления, создаваемые кристаллами в поляризованном свете
- Призма Николя
- Поляризатор и анализатор
- Действие толстых и тонких пластин селенита
- Цвета зависят от толщины
- Разделение селенитом поляризованного луча на два других
- Один из них более отсталый, чем другой
- Пересоединение анализатором двух систем Волн
- Вмешательство, таким образом, стало возможным
- Последующее получение цветов

- Действие тел, механически напряженных или спрессованных
- Действие звуковых колебаний
- Действие стекла, деформированного или спрессованного под действием тепла
- Круговая поляризация
- Хроматические явления, производимые кварцем
- Намагничивание света
- Кольца , окружающие оси кристаллов
- Биаксиальные и одноосные кристаллы
- Понимание волновой теории
- Цвет и поляризация небесного света
- Создание искусственного неба.

ЛЕКЦИЯ V.

- Дальность обзора, несоизмеримая с дальностью излучения
- Ультрафиолетовые лучи
- Флуоресценция
- Превращение невидимых Лучей в видимые
- Зрение - не единственное Чувство, к которому апеллируют солнечные и электрические лучи
- Жар луча
- Горение суммарным лучом в фокусах зеркал и линз
- Горение через ледяную линзу
- Воспламенение алмаза
- Поиск Лучей здесь эффективен
- Открытие сэром Уильямом Гершелем темных солнечных лучей
- Невидимые лучи - основа Видимого
- Отделение лучофильтром Невидимых лучей от Видимых
- Горение в темных очагах
- Преобразование тепловых лучей в световые
- Теплотворность
- Роль , которую Темные лучи играют в Природе
- Идентичность света и лучистого тепла
- Невидимые Образы
- Отражение, Преломление, Плоская поляризация, Деполяризация, Круговая поляризация, Двойное преломление и Намагничивание теплового излучения

ЛЕКЦИЯ VI.

- Принципы спектрального анализа
- Призматический анализ света паров накаливания
- Разрывные спектры
- Полосы спектра, доказанные Бунзеном и Кирхгофом как характерные для Пара

- Открытие рубидия, цезия и таллия
- Отношение излучения к поглощению
- Линии Фраунгофера
- Их объяснение Кирхгофом
- Химия Солнца, вовлеченная в это Объяснение
- Эксперимент Фуко
- Принципы усвоения
- Аналогия звука и света
- Экспериментальная демонстрация этой аналогии
- Последние применения спектроскопа
- Резюме и заключение

ПРИЛОЖЕНИЕ.

О спектрах поляризованного света

Измерение световых волн

Указатель.

НА СВЕТ

ЛЕКЦИЯ I.

ВВОДНОЕ

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ЭКСПЕРИМЕНТА

РАННИЕ НАУЧНЫЕ ПРЕДСТАВЛЕНИЯ

НАУКИ О НАБЛЮДЕНИИ

ЗНАНИЯ ДРЕВНИХ О СВЕТОВЫХ

ДЕФЕКТАХ ГЛАЗА

НАШИХ ИНСТРУМЕНТАХ

ПРЯМОЛИНЕЙНОМ РАСПРОСТРАНЕНИИ СВЕТА

ЗАКОНЕ ПАДЕНИЯ И ОТРАЖЕНИЯ

СТЕРИЛЬНОСТИ СРЕДНЕВЕКОВЬЯ

РЕФРАКЦИИ

ОТКРЫТИИ СНЕЛЛА

ЧАСТИЧНОМ И ПОЛНОМ ОТРАЖЕНИИ

СКОРОСТИ СВЕТА

РЕМЕРА, БРЭДЛИ, ФУКО И ФИЗО

ПРИНЦИПЕ НАИМЕНЬШЕГО ДЕЙСТВИЯ
ДЕКАРТЕ И РАДУГЕ
ЭКСПЕРИМЕНТАХ НЬЮТОНА О СОСТАВЕ СОЛНЕЧНОГО СВЕТА
ЕГО ОШИБКА В ОТНОШЕНИИ АХРОМАТИЗМА
СИНТЕЗ БЕЛОГО СВЕТА
ЖЕЛТЫЙ И СИНИЙ СВЕТ СОЗДАЮТ БЕЛЫЙ ЦВЕТ ЗА СЧЕТ СМЕШЕНИЯ
ЦВЕТОВ ПРИРОДНЫХ ТЕЛ,
ПОГЛОЩЕНИЯ
СМЕСИ ПИГМЕНТОВ, КОНТРАСТИРУЮЩИХ СО СМЕСЬЮ ОГНЕЙ.

§ 1. Введение.

Около двенадцати лет назад я опубликовал в Англии небольшую книгу под названием "Ледники Альп", а пару лет спустя - вторую книгу под названием "Нагрев как способ движения". За этими томами последовали другие, написанные с такой же ясностью и с аналогичной целью, которая заключалась в развитии и углублении симпатии между наукой и миром за пределами науки. Я согласился с вдумчивыми людьми^[1], которые считали, что ни одному из миров не полезно быть изолированным от другого, или не сочувствовать другому, и, чтобы уменьшить эту изоляцию, по крайней мере, в одной области науки, я на время отказался от тех оригинальных исследований, которые были настоящим занятием и удовольствием моей жизни.

Работы, на которые здесь ссылаются, по большей части были переизданы господами. Эпплтон из Нью-Йорка,^[2] под эгидой человека, который неутомим в своих усилиях по распространению надежных научных знаний среди населения Соединенных Штатов; чья энергия, способности и целеустремленность в выполнении трудной задачи завоевали ему симпатию и поддержку многих из нас на "старой родине". Я имею в виду профессора Юманса. Так же быстро, как и в Англии, цель этих работ была понята и оценена в Соединенных Штатах, и они принесли мне с этой стороны Атлантики бесчисленные свидетельства доброй воли. Год за годом мне приходили приглашения^[3] посетить Америку, и в прошлом году (1871) я был удостоен столь сердечной просьбы, подписанной двадцатью пятью именами, столь выдающимися в науке, литературе и на административном посту, что я сразу же решил откликнуться на нее, бросив вызов не только тревожным колебаниям Атлантики, но и гораздо более тревожное испытание - лично предстать перед народом Соединенных Штатов.

Это приглашение, переданное мне моим опытным другом профессором Лесли из Филадельфии и предваренное письмом того же содержания от вашего научного руководителя, знаменитого Джозефа Генри из Вашингтона, содержало пожелание, чтобы я прочитал лекции в некоторых главных городах Союза. Я согласился это сделать, хотя и пребывал в полном неведении относительно подходящей темы. Однако в ответ на мои расспросы мне дали понять, что курс лекций, демонстрирующий использование эксперимента в развитии естественных знаний, существенно продвинул бы научное образование в этой стране. И хотя такие лекции требовали выбора увесистых и изящных инструментов и их переноса с места на место, я решил удовлетворить пожелания моих друзей, насколько позволят время и средства, имевшиеся в моем распоряжении.

§ 2. Тема курса. Используемый источник света.

Эксперименты имеют два важных применения — для открытий и для обучения. Давным-давно их определили как язык исследователя, обращенный к Природе, на который она посылает вразумительные ответы. Однако эти ответы обычно доходят до спрашивающего шепотом, слишком слабым для посторонних ушей. Но после исследователя приходит учитель, функция которого заключается в том, чтобы так возвеличить и модифицировать эксперименты своего предшественника, чтобы сделать их пригодными для публичного представления. Эту второстепенную функцию я постараюсь в данном случае выполнить.

Взяв в качестве своего предмета отдельный раздел натурфилософии, я предлагаю с его помощью проиллюстрировать рост научных знаний под руководством эксперимента. Я хочу, во-первых, познакомить вас с некоторыми элементарными явлениями; затем указать вам, как теоретические принципы, с помощью которых объясняются явления, укореняются в человеческом уме, и, наконец, применить эти принципы ко всей совокупности знаний, охватываемых лекциями. Наука оптика особенно хорошо поддается такому способу лечения, и поэтому я предлагаю использовать ее для материалов настоящего курса. Лучше всего будет начать с нескольких простых фактов о свете, которые были известны древним, и перейти от них, в исторической градации, к более сложным открытиям современности.

Все наши представления о Природе, какими бы возвышенными или гротескными они ни были, основаны на опыте. Понятие личной воли в Природе имело такую основу. В ярости и безмятежности природных явлений дикарь видел отражение своих собственных меняющихся настроений и соответственно приписывал эти явления существам, схожим с ним по страсти, но значительно превосходящим его по силе. Таким образом, понятие *причинности* — предположение, что природные явления возникли не сами по себе, а имели невидимые предпосылки, — лежало в основе даже дикарской интерпретации Природы. Из этой склонности человеческого разума искать причины явлений возникла вся наука.

Мы не будем сейчас возвращаться к первым интеллектуальным поискам человека; тем более мы не будем вдаваться в тернистую дискуссию о том, как возник человек, идущий ощупью. Мы возьмем его на той стадии его развития, когда он овладел аппаратом мышления и способностью им пользоваться. Какое—то время - и это было исторически долгое время — он ограничивался простым наблюдением, принимая то, что предлагала Природа, и ограничиваясь только этим интеллектуальным действием. Видимые движения солнца и звезд впервые привлекли к ним внимание интеллекта, и, соответственно, астрономия была первой развитой наукой. Медленно и с трудом представление о силах природы укоренилось в человеческом сознании. Медленно и с трудом наука механика должна была вырасти из этого представления; и постепенно, наконец, пришло полное применение механических принципов к движениям небесных тел. Мы прослеживаем прогресс астрономии через Гиппарха и Птолемея; и, после долгого перерыва, через Коперника, Галилея, Тихо Браге и Кеплера; в то время как с высокого плато мысли, занятого этими людьми, Ньютон устремляется ввысь подобно пику, возвышаясь над всеми остальными со своего господствующего возвышения.

Но внимание древнего мира привлекали не только движения звезд, но и другие объекты. Свет был знакомым явлением, и с самых ранних времен мы обнаруживаем, что умы людей заняты попытками дать ему какое-то объяснение. Но без *эксперимента*, который относится к более поздней стадии научного развития, здесь можно было бы добиться незначительного прогресса.

Древние, соответственно, были гораздо менее успешны в работе со светом, чем в работе с движением Солнца и звезд. Тем не менее, они добились некоторого прогресса. Они убедились, что свет движется по прямым линиям; они знали также, что свет отражается от полированных поверхностей и что угол падения равен углу отражения. Эти два результата древнего научного любопытства составляют отправную точку нашего нынешнего курса лекций.

Но прежде всего будет полезно сказать несколько слов относительно источника света, который будет использоваться в наших экспериментах. Ржавление железа - это, по сути, медленное горение железа. Он выделяет тепло, и, если тепло сохраняется, таким образом может быть достигнута высокая температура. Разрушение первого атлантического кабеля, вероятно, произошло из-за выделяющегося таким образом тепла. Другие металлы все же более горючи, чем железо. Вы можете поджечь полоски цинка в пламени свечи и заставить их гореть почти как полоски бумаги. Но теперь мы должны расширить наше определение горения и включить в этот термин не только горение в воздухе, но и горение в жидкостях. Вода, например, содержит запас кислорода, который может соединяться с погруженным в нее металлом и поглощать его; именно из этого вида горения мы должны получать тепло и свет, используемые в нашем настоящем курсе.

Генерация этого света и этого тепла заслуживает минутного внимания. Перед вами прибор — небольшая вольтовая батарейка— в которой цинк погружен в подходящую жидкость. В этот момент между металлом и кислородом жидкости возникает сила притяжения; однако фактического сочетания в первую очередь удастся избежать. Соединяя два конца батареи толстой проволокой, притяжение удовлетворяется, кислород соединяется с металлом, цинк расходуется, а тепло, как обычно, является результатом сгорания. Сила, которую за неимением лучшего названия мы называем электрическим током, одновременно проходит по проводу.

Разрежьте толстую проволоку надвое, соедините отрезанные концы тонкой проволокой. Она раскалется добела. Откуда берется этот жар? Этот вопрос вполне заслуживает ответа. Предположим, в первом случае, когда используется толстая проволока, что мы позволяем действию продолжаться до тех пор, пока не израсходуется 100 гран цинка, количество тепла, выделяемого батареей, будет поддаться точному числовому выражению. Затем продолжайте работу, пока тонкая проволока будет светиться, пока не израсходуется 100 гран цинка. Будет ли количество тепла, выделяемого батареей, таким же, как раньше? Нет; оно будет меньше на точное количество, выделяемое тонким проводом снаружи батареи. Фактически, добавляя внутреннее тепло к внешнему, мы получаем для сгорания 100 гран цинка общее количество, которое никогда не меняется. Здесь мы имеем прекрасный пример того закона постоянства в отношении природных энергий, установление которого является величайшим достижением современной науки. Таким образом, благодаря такому устройству мы можем сжигать наш цинк в одном месте и демонстрировать эффекты его горения в другом. В Нью-Йорке, например, у нас может быть своя решетка и топливо; но тепло и свет нашего камина могут появиться и в Сан-Франциско.

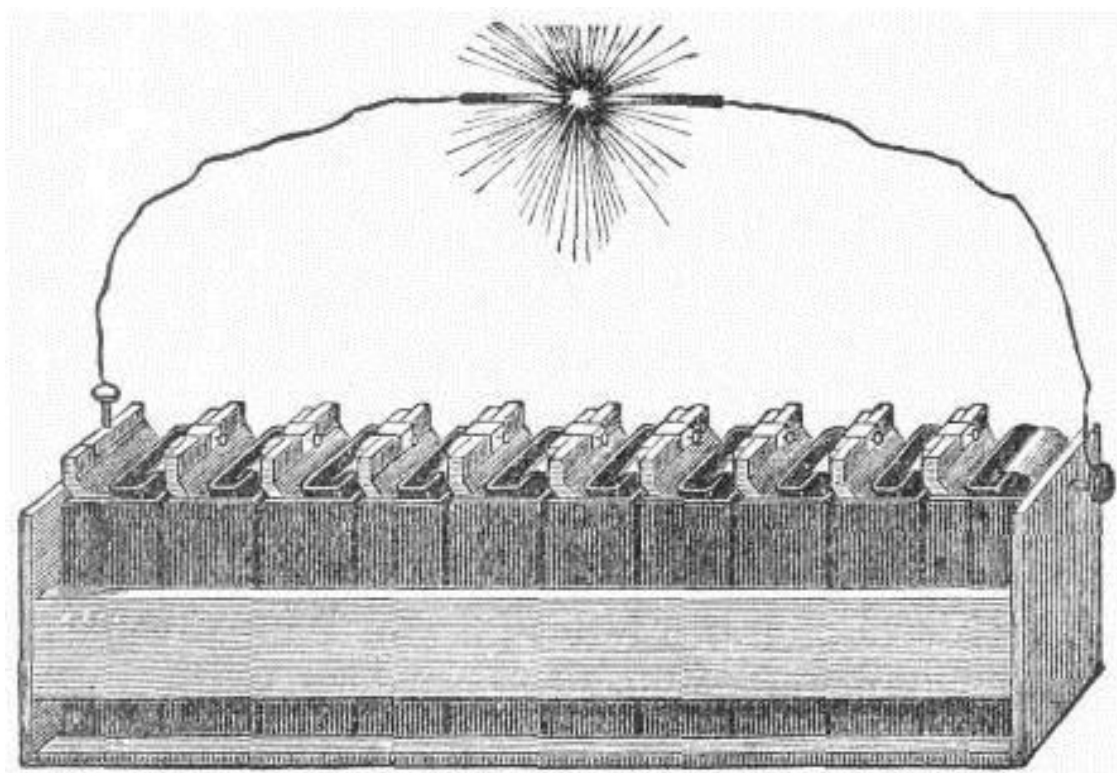


Рис. 1.

Снимая тонкую проволоку и прикрепляя к отрезанным концам толстой два стержня кокса, мы получаем, соединив стержни вместе (как на рис. 1), маленькая звезда света. Теперь свет, который будет использоваться в наших лекциях, является простым преувеличением этой звезды. Вместо того чтобы вырабатываться десятью клетками, он вырабатывается пятьюдесятью. Помещенный в подходящую камеру с подходящим объективом, этот мощный источник даст нам весь свет, необходимый для наших экспериментов.

И здесь, мимоходом, мне напоминают о распространенном заблуждении, что творения Природы, включая человеческий глаз, теоретически совершенны. Веками глаз рос к совершенству; но, возможно, перед ним еще целые века совершенствования. Глядя на ослепительный свет, исходящий от нашей большой батареи, я вижу светящийся шар, но совершенно не вижу формы коксовых точек, откуда исходит свет. Таким образом, причина может быть прояснена: на экран перед вами проецируется изображение угольных точек, при этом для формирования изображения используется вся стеклянная линза перед камерой. Он не острый, но окружен ореолом, который почти уничтожает углерод. Это возникает из-за несовершенства стеклянной линзы, называемого ее *сферической аберрацией*, которая связана с тем, что окружные и центральные лучи имеют разный фокус. Человеческий глаз страдает подобным дефектом, и из-за этого, а также по другим причинам, возникает то, что при взгляде на чистый свет от пятидесяти ячеек размытости света на сетчатке достаточно, чтобы нарушить четкость изображения атомов углерода на сетчатке. Против глаза действительно можно было бы выдвинуть длинный список обвинений — его непрозрачность, отсутствие симметрии, отсутствие ахроматизма, частичная слепота. Все это вместе взятое заставило Гельмгольца сказать, что, если бы какой-нибудь оптик прислал ему прибор с таким дефектом, он имел бы полное право отослать его обратно с самым строгим порицанием. Но о глазу нельзя судить с точки зрения теории. Он не совершенен, но находится на пути к совершенству. Как

практический инструмент, с учетом корректировок, с помощью которых нейтрализуются его недостатки, он всегда должен оставаться чудом для размышляющего разума.

§ 3. Прямолинейное распространение света. Элементарные эксперименты. Закон отражения.

Древние знали о прямолинейном распространении света. Они знали, что непрозрачное тело, помещенное между глазом и точкой света, задерживает свет этой точки. Возможно, термины "луч" и "балка" были подсказаны теми прямыми световыми лучами, которые при определенных состояниях атмосферы исходят от солнца при его восходе и заходе. Прямолинейное распространение света можно проиллюстрировать, позволив солнечному свету проникать через небольшое отверстие в оконном ставне в темную комнату, в которой рассеяно немного дыма. В чистом воздухе вы не можете увидеть луч, но в задымленном воздухе вы можете, потому что свет, невидимый в воздухе, рассеивается и проявляется частицами дыма, среди которых луч проходит прямой путь.

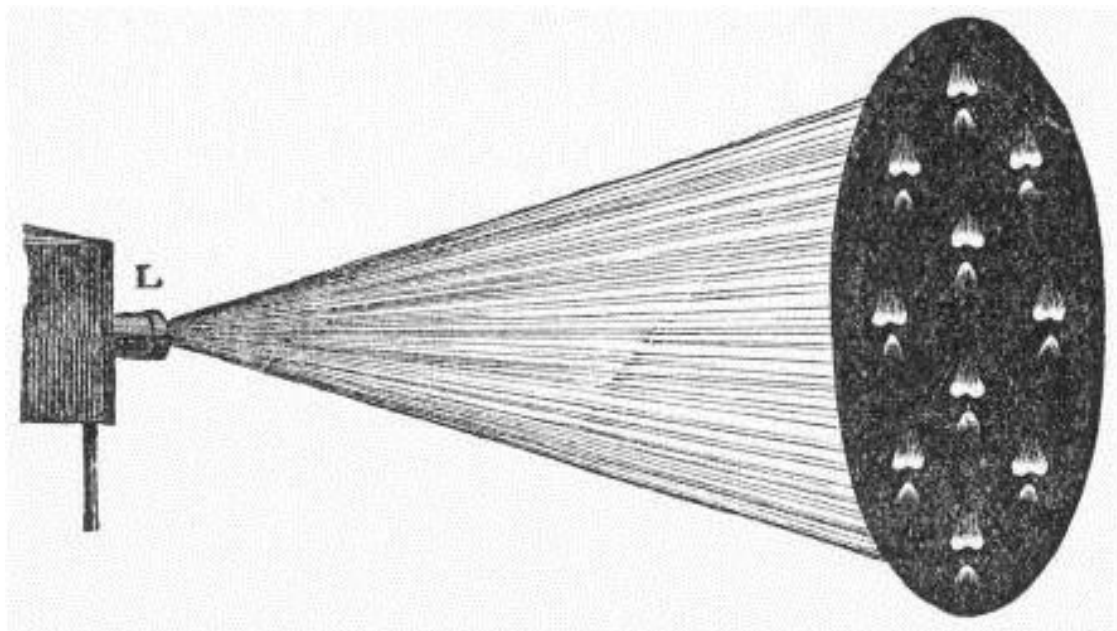


Рис. 2.

Следующий поучительный эксперимент зависит от прямолинейного распространения света. Прорежьте небольшое отверстие в закрытом оконном ставне, перед которым стоит дом или дерево, и поместите в затемненной комнате белую ширму на некотором расстоянии от отверстия. Каждый прямой луч, исходящий от дома или дерева, накладывает свой отпечаток цвета на экран, и сумма всех лучей будет, следовательно, изображением объекта. Но поскольку лучи пересекаются друг с другом в отверстии, изображение переворачивается. В настоящее время мы можем проиллюстрировать и расширить тему следующим образом: перед нашей камерой находится большое отверстие (L, рис. 2), с которого была снята линза и который в настоящее время закрыт листом оловянной фольги. Прокалывая обычной швейной иглой небольшое отверстие в фольге, на экране появляется перевернутое изображение угольных точек. Дюжина отверстий даст дюжину изображений, сотня за сотней, тысяча за тысячью. Но по мере того, как отверстия приближаются друг к другу, то есть по мере того, как исчезает оловянная пленка между отверстиями, изображения накладываются все больше и больше. При полном удалении фольги экран становится равномерно освещенным. Следовательно, свет на

экране можно рассматривать как наложение бесчисленных изображений угольных точек. Точно так же свет, падающий на каждую белую стену в безоблачный день, можно рассматривать как результат наложения бесчисленных изображений солнца.

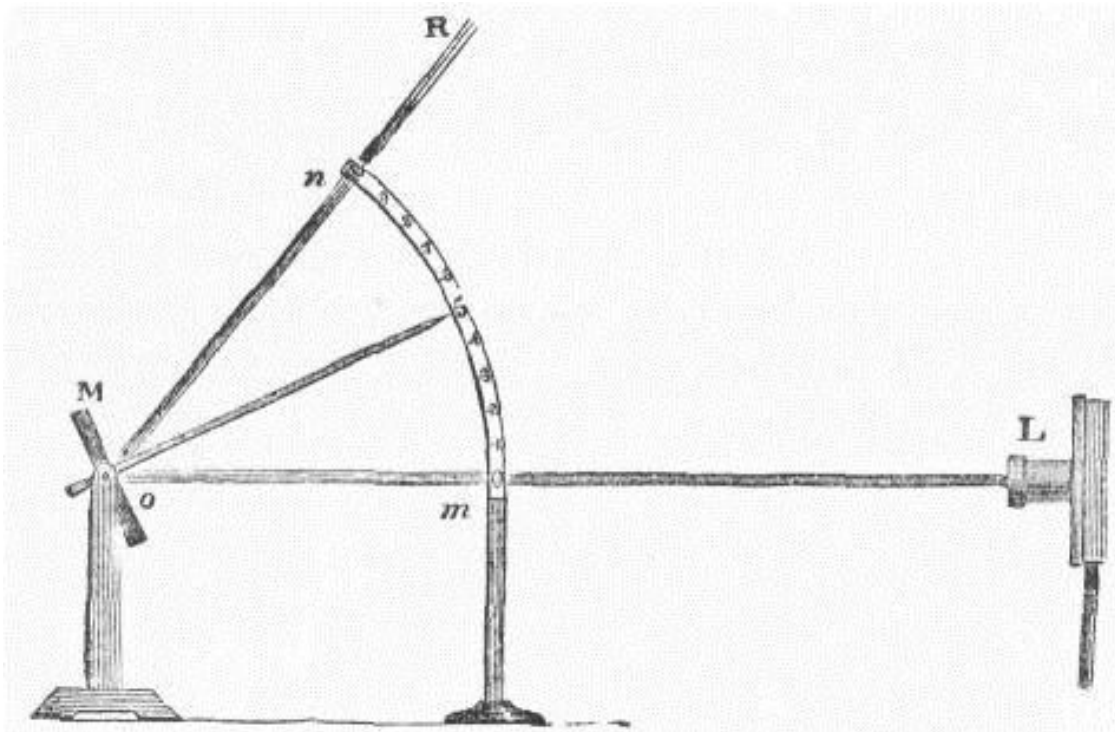


Рис. 3.

Закон о том, что угол падения равен углу отражения, имеет отношение к теории, о которой будет упомянуто далее, что делает желательной его простую иллюстрацию здесь. Прямая планка (указывающая на цифру 5 на дуге на рис. 3) закреплена как указатель, перпендикулярный маленькому зеркалу (M), способному вращаться. Мы начинаем с того, что получаем луч света от стекла, который отражается обратно по линии его падения. Затем указатель поворачивается, зеркало поворачивается вместе с ним, и с каждой стороны указателя падающий и отраженный лучи (Lo , $o R$) проходят сквозь пыль в комнате. Простого осмотра двух углов, заключенных между указателем и двумя балками, достаточно, чтобы показать их равенство; в то время как, если обратиться к градуированной дуге, дуга от 5 до m оказывается точно равной дуге от 5 до n . Полное выражение закона отражения состоит не только в том, что углы падения и отражения равны, но и в том, что падающий и отраженный лучи всегда лежат в плоскости, перпендикулярной отражающей поверхности.

Это простое устройство позволяет нам проиллюстрировать другой закон, имеющий большое практическое значение, а именно, что при вращении зеркала угловая скорость луча, отраженного от него, в два раза больше, чем у отражающего зеркала. Простой эксперимент прояснит это. Дуга ($m n$, рис. 3) перед вами разделенный на десять равных частей, и когда падающий луч и индекс пересекают ноль градуировки, как падающий, так и отраженный лучи становятся горизонтальными. Перемещая указатель зеркала на 1, отраженный луч прорезает дугу на отметке 2; перемещая указатель на 2, дуга прорезается на отметке 4; перемещая указатель на 3, дуга прорезается на отметке 6; перемещая указатель на 4, дуга прорезается на отметке 8; наконец, перемещая указатель на 5, дуга прорезается на отметке

10 (как показано на рисунке). В каждом случае отраженный луч проходит под углом, вдвое превышающим угол, пройденный зеркалом.

Одна из главных задач науки состоит в том, чтобы помочь чувствам человека, перенося их в области, которые никогда не были бы достигнуты без этой помощи. Таким образом, мы вооружаем глаз телескопом, когда хотим исследовать глубины космоса, и микроскопом, когда хотим исследовать движение и структуру в их бесконечно малых измерениях. Итак, этот закон углового отражения в сочетании с тем фактом, что луч света не обладает весом, дает нам средства необычайного увеличения малых движений. Таким образом, прикрепив зеркала к своим подвешенным магнитам и наблюдая за отражающимися от зеркал изображениями разделенных шкал, знаменитый Гаусс смог обнаружить малейшее колебание магнитной силы Земли. Подобным образом проявились слабые притяжения и отталкивания диамагнитной силы. Незначительное удлинение металлического бруска простым теплом руки может быть настолько увеличено с помощью этого метода, что указательная балка переместится на 20 или 30 футов. Таким образом также можно продемонстрировать удлинение железного бруска при намагничивании. Гельмгольц давно использовал этот метод, чтобы показать своим студентам классические эксперименты Дюбуа Раймона по электричеству животных; в то время как в отражательном гальванометре сэра Уильяма Томсона этот принцип получил одно из своих последних и наиболее важных применений.

§ 4. Преломление света. Полное отражение.

На протяжении более тысячи лет в оптике не было сделано ни шагу дальше этого закона отражения. Люди Средневековья, по сути, пытались, с одной стороны, *априори* вывести законы вселенной из своего собственного сознания, в то время как многие из них были настолько заняты заботами о будущем мире, что смотрели с высокомерным презрением на все, относящееся к этому миру. Говоря о натурфилософах своего времени, Евсевий говорит: "Не из—за незнания вещей, которыми они восхищались, а из—за презрения к их бесполезному труду мы мало думаем об этих материях, обращая наши души к занятиям лучшими вещами". Так же и Лактанций - "Искать причины вещей; вопрошать, действительно ли солнце такое большое, каким кажется; выпуклая или вогнутая луна; закреплены ли звезды на небе или свободно парят в воздухе; какого размера и из какого материала небеса; находятся ли они на расстоянии вытянутой руки". покоящийся или находящийся в движении; какова величина земли; на каком основании она подвешена или сбалансирована; - спорить и строить догадки по таким вопросам - все равно что обсуждать, что мы думаем о городе в отдаленной стране, о котором мы никогда не слышали, кроме названия".

Что касается преломления света, то курс реальных исследований был возобновлен в 1100 году арабским философом по имени Альхазен. Затем им поочередно занялись Роджер Бэкон, Вителлио и Кеплер. Одним из важнейших занятий науки является определение путем точных измерений количественных соотношений явлений; ценность таких измерений в значительной степени зависит от мастерства и добросовестности человека, который их производит. Вителлио, по-видимому, был искусен и добросовестен, в то время как привычкой Кеплера было рыться в наблюдениях своих предшественников, рассматривать их со всех сторон и таким образом извлекать из них принципы, которые их объединяли. Он сделал это с помощью астрономических измерений Тихо Браге и извлек из них знаменитые "законы Кеплера". Он сделал это также с помощью измерений рефракции Вителлио. Но в этом случае он не добился

успеха. Принцип, хотя и простой, ускользнул от него, и впервые он был открыт Виллебрордом Снеллом примерно в 1621 году.

Здесь может быть продемонстрирован факт преломления не столько с целью остановиться на самом явлении, сколько с целью представить его в форме, которая впоследствии сделает вам понятной игру теоретической мысли в уме Ньютона. Я не буду делать этого, рисуя курс луча мелом на черной доске, но заставлю его отмечать перед вами свой собственный белый след. Неглубокий круглый сосуд (БУРОВАЯ УСТАНОВКА, рис. 4), наполовину заполненный водой, слегка помутневшей из-за примешивания небольшого количества молока или выпадения небольшого количества мастики, помещают лицевой стороной стакана вертикально. С помощью небольшого плоского отражателя (М) и через щель (I) в кольце, окружающем сосуд, пропускается луч света в любом требуемом направлении. Он сталкивается с водой (при О), входит в нее и остается в жидкости в виде резкой яркой полосы (Оg). Тем временем луч невидимо проходит сквозь воздух над водой, поскольку воздух не способен рассеивать свет. Облако дыма в этом пространстве сразу же выявляет траекторию падающего луча. Если падение вертикальное, луч не преломляется. Если наклонное, его преломление на общей поверхности воздуха и воды (в точке О) становится отчетливо видимым. Также видно, что *отражение* (вдоль оси О) сопровождается преломлением, при этом луч разделяется в точке падения на преломленную и отраженную части.[4]

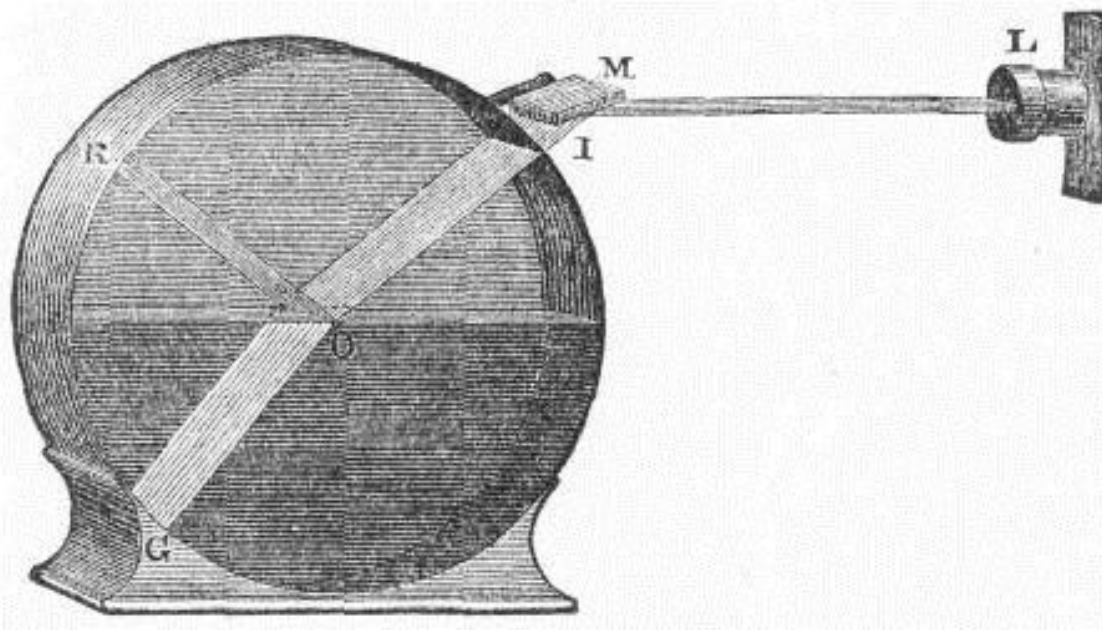


Рис. 4.

Закон, по которому Снелл связал воедино все измерения, выполненные до него, таков: пусть А В С D (рис. 5) изобразите контур нашего круглого судна, буква С - ватерлиния. Когда луч падает вдоль Ве, который перпендикулярен букве С, преломления нет. Когда он падает вдоль т Е, происходит преломление: он изгибается в точке Е и ударяется о окружность в точке n. Когда луч падает вдоль т' Е, в точке Е также происходит преломление, и луч попадает в точку n'. С концов двух падающих лучей пусть на Вd будут проведены перпендикуляры т о, т' о', а с концов преломленных лучей пусть также будут проведены перпендикуляры р n, р' n'. Измерьте длины о т и р n и разделите одно на другое. Вы получаете определенное частное. Аналогичным образом разделите т' о' на соответствующий перпендикуляр р' n'; вы получите точно такое же частное. Снелл, фактически, обнаружил, что это частное является *постоянной величиной* для каждого

конкретного вещества, хотя его количество варьировалось от одного вещества к другому. Он назвал это частное *показателем преломления*.

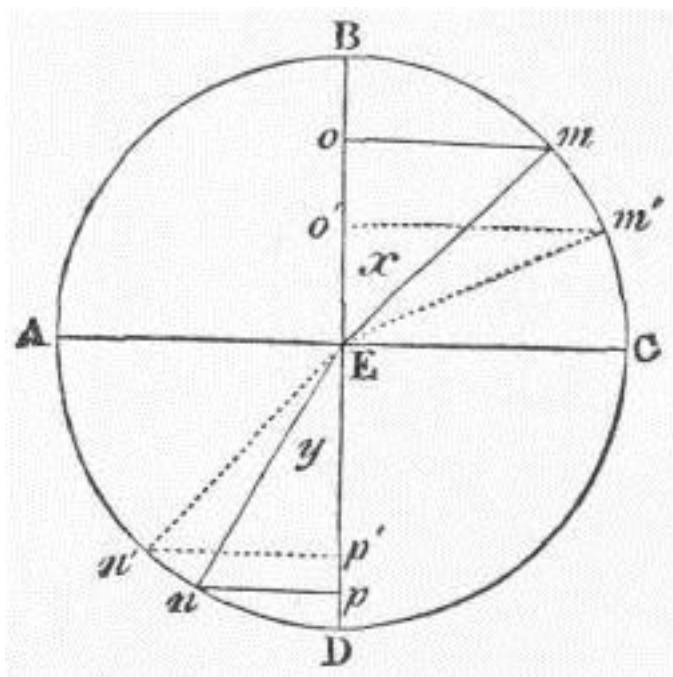


Рис. 5

Во всех случаях, когда свет падает из воздуха на поверхность твердого тела или жидкости, или, говоря более общим языком, когда падение происходит из среды с менее высоким преломлением в среду с более высоким преломлением, отражение является *частичным*. В этом случае наиболее сильно отражающие вещества либо пропускают, либо поглощают часть падающего света. При перпендикулярном падении вода отражает только 18 лучей из каждых 1000; стекло отражает только 25 лучей, в то время как ртуть отражает 666, когда лучи падают на поверхность косо, отражение увеличивается. Например, при падении под углом 40° вода отражает 22 луча, при 60° - 65 лучей, при 80° - 333 луча; в то время как при падении под углом $89\frac{1}{2}^\circ$, когда свет почти касается поверхности, он отражает 721 луч из каждых 1000. Таким образом, по мере увеличения наклона отражение от воды приближается к перпендикулярному отражению от ртути и, наконец, полностью обгоняет его; но при падении от воздуха отражение от воды, ртути или любого другого вещества, каким бы большим оно ни было, не является *полным*.

Тем не менее, может произойти полное отражение, и для понимания его последующего применения в призме Николя необходимо указать, когда это происходит. Это подводит меня к формулированию принципа, лежащего в основе всех оптических явлений, — принципа обратимости. [5] В случае преломления, например, когда луч проходит наклонно из воздуха в воду, он изгибается к перпендикулярю; когда он проходит из воды в воздух, он изгибается от перпендикуляра и точно меняет свой курс на противоположный. Таким образом, на рис. 5, если $m E n$ - траектория луча при переходе из воздуха в воду, то $n E m$ будет его траекторией при переходе из воды в воздух. Давайте рассмотрим этот принцип с точки зрения его последствий. Предположим, что свет, вместо того чтобы падать вдоль $m E$ или $m' E$, падает как можно ближе вдоль Se (рис. 6); предположим, другими словами, что он просто касается поверхности, прежде чем войти в воду. После преломления он будет следовать, скажем, по курсу $E n$. И наоборот,

если свет начинается с n'' и падает в точке E, он, поднимаясь в воздух, просто коснется поверхности воды. Теперь возникает вопрос, что произойдет, если предположить, что луч из воды следует по курсу n'' E, который лежит зал" E? Ответ в том, что он вообще не выйдет из воды, но будет *полностью* отражен (вдоль E x). Более того, на нижней поверхности воды закон точно такой же, как и на ее верхней поверхности, угол падения (D E n'') равен углу отражения (D E x).

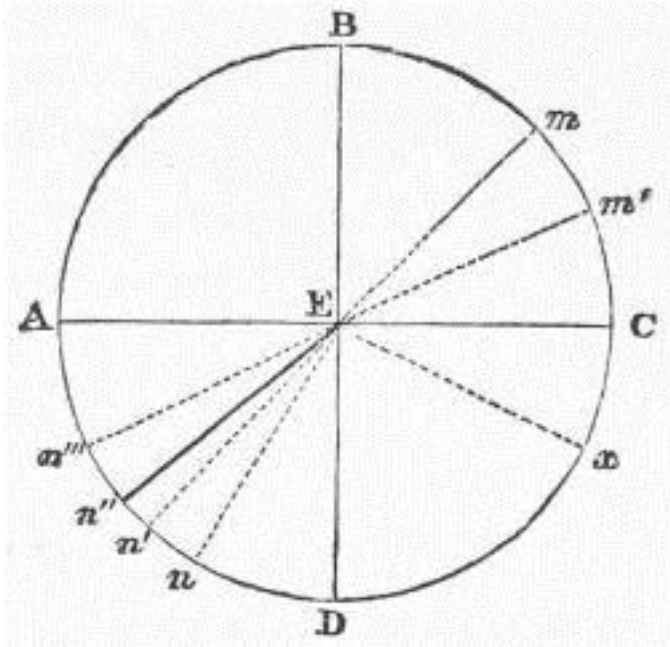


Рис. 6

Полное отражение можно проиллюстрировать следующим образом: —Положите шиллинг в стакан для питья и наклоните стакан так, чтобы свет от шиллинга падал под необходимым углом на поверхность воды над ним. Посмотрите вверх сквозь воду на эту поверхность, и вы увидите изображение шиллинга, сияющего там так же ярко, как и сам шиллинг. Опустите закрытый конец пустой пробирки в воду и наклоните пробирку. При достаточном наклоне горизонтальный свет, падающий на трубку, не может проникать в воздух внутри нее, а полностью отражается вверх: при взгляде сверху вниз такая трубка выглядит такой же яркой, как полированное серебро. Налейте в пробирку немного воды; по мере подъема жидкости полное отражение исчезает, а вместе с ним и блеск, оставляя постепенно уменьшающуюся зону сияния, которая полностью исчезает, когда уровень воды внутри пробирки достигает уровня без нее. Любая стеклянная трубка с водонепроницаемым концом произведет этот эффект, который одновременно красив и поучителен.

Полное отражение никогда не происходит, за исключением попытки прохождения луча из более преломляющей среды в менее преломляющую; но в этом случае, когда наклон достаточен, это происходит всегда. Мираж пустыни и другие призрачные явления в атмосфере отчасти связаны с этим. Когда, например, солнце нагревает песчаный участок, слой воздуха, соприкасающийся с песком, становится легче и менее преломляющим, чем воздух над ним: следовательно, лучи от удаленного объекта, падающие очень косо на поверхность нагретого слоя, иногда полностью отражаются вверх, создавая изображения, подобные тем, которые создает вода. Я видел изображение скалы под названием Мон-Томбелин, отчетливо отражавшееся в раскаленном воздухе нормандского побережья близ Авранша; и такая обманчивая видимость сильно мучила измученных жаждой солдат французской армии в Египте.

Угол, обозначающий предел, за которым происходит полное отражение, называется *предельным углом* (он отмечен на рис. 6 четкой линией $E n''$). Очевидно, что он должен уменьшаться по мере увеличения показателя преломления. Для воды она равна $48\frac{1}{2}^\circ$, для кремневого стекла $38^\circ 41'$, а для алмаза $23^\circ 42'$. Таким образом, весь свет, падающий из двух полных квадрантов, или 180° , в случае алмаза, конденсируется в угловом пространстве $47^\circ 22'$ (дважды $23^\circ 42'$) за счет преломления. В сочетании с его большим преломлением, большая рассеивающая и отражающая способности алмаза; отсюда необычайное сияние драгоценного камня, как в отношении белого, так и призматического света.

§ 5. Скорость света. Аберрация. Принцип наименьшего действия.

В 1676 году астрономия придала огромный импульс развитию оптики. В тот год Олав Ремер, ученый датчанин, был занят в Парижской обсерватории наблюдением за затмениями спутников Юпитера. Планета, расстояние которой от Солнца составляет 475 693 000 миль, имеет четыре спутника. Сейчас нас интересует только ближайший к планете. Ремер наблюдал за этой луной, видел, как она движется вокруг планеты, погружается в тень Юпитера, ведет себя как внезапно погасшая лампа; затем на другом краю тени он увидел, как она появляется снова, как внезапно зажженная лампа. Таким образом, Луна играла для астронома роль сигнального огонька и позволяла ему точно определить время ее обращения. Он установил, что период между двумя последовательными включениями лунной лампы составляет 42 часа 28 минут и 35 секунд.

Это измерение времени было настолько точным, что, определив момент выхода луны из тени, можно было определить и момент ее следующего появления. Фактически, это было бы 100 раз по 42 часа 28 минут 35 секунд после первого наблюдения.

Первое наблюдение Ремера было сделано, когда земля находилась на части своей орбиты, ближайшей к Юпитеру. Примерно шесть месяцев спустя, когда Земля находилась на противоположной стороне своей орбиты, когда маленькая луна должна была появиться в свой сотый раз, было обнаружено, что она нерегулярна и отстает от расчетного времени на целых 15 минут. Более того, позже его вид постепенно увеличивался по мере того, как земля отступала к той части своей орбиты, которая была наиболее удалена от Юпитера. Ремер рассуждал так: "Если бы я мог оставаться на другой стороне земной орбиты, луна могла бы появляться всегда в нужное время; наблюдатель, находящийся там, вероятно, увидел бы луну 15 минут назад, задержка в моем случае объясняется тем фактом, что свету требуется 15 минут, чтобы пройти от места, где было сделано мое первое наблюдение, до моего нынешнего положения".

За этой вспышкой гения немедленно последовала другая. "Если это предположение верно, - рассуждал Ремер, - то по мере приближения к Юпитеру по другой стороне земной орбиты замедление должно постепенно уменьшаться, а когда я достигну места моего первого наблюдения, замедления не должно быть вообще". Он обнаружил, что это так, и таким образом не только доказал, что свету требуется время для прохождения через пространство, но и определил скорость его распространения.

Скорость света, определенная Ремером, составляет 192 500 миль в секунду.

Однако какое-то время наблюдения и рассуждения Ремера не приводили к убедительности. Кассини, Фонтенель и Гук усомнились в них. Впоследствии слова Ремера были неожиданно подтверждены английским астрономом Брэдли, который заметил, что неподвижные звезды на

самом деле не кажутся неподвижными, но каждый год они совершают небольшие обращения по небесным орбитам. Результат озадачил его, но Брэдли обладал умом, открытым для предположений, и был способен увидеть в малейшем факте картину самого большого. Однажды он плыл в лодке по Темзе и заметил, что, пока его курс оставался неизменным, флюгер на верхушке его мачты показывал, что ветер постоянно дует в одном направлении, но что ветер, казалось, менялся с каждым изменением направления движения его лодки. "Здесь, - как говорит Уэвелл, - было изображение его дела. Лодка была землей, движущейся по своей орбите, а ветер - светом звезды.

Мимоходом мы можем спросить, чем бы для Брэдли были "ветер и флюгер", если бы не способность, сформировавшая "образ"? Ветер и флюгер, и ничего больше. Вы сразу поймете значение открытия Брэдли. Представьте себя в неподвижном железнодорожном поезде, под струями дождя, падающими вертикально вниз. В тот момент, когда поезд трогается с места, капли дождя начинают падать под наклоном, и чем быстрее движется поезд, тем больше наклон. Точно таким же образом лучи от звезды, расположенной вертикально над головой, наклоняются из-за движения Земли в пространстве. Зная скорость поезда и наклон падающего дождя, можно рассчитать скорость капель; а зная скорость движения Земли по ее орбите и наклон лучей, обусловленный этой причиной, мы можем так же легко рассчитать скорость света. Брэдли сделал это, и "абerrация света", как называли его открытие, позволила ему присвоить ему скорость, почти идентичную той, которую вывел Ремер с помощью совершенно другого метода наблюдения. Впоследствии Физо, а совсем недавно и Корню, используя не планетарные или звездные расстояния, а просто ширину города Парижа, определили скорость света, в то время как Фуко — человек редчайшего механического гения — решил проблему, не выходя из своего кабинета. Из-за ошибки в определении расстояния Земли от солнца скорость, присвоенная свету как Ремером, так и Брэдли, слишком велика. С близким приближением к точности ее можно рассматривать как 186 000 миль в секунду.

Благодаря открытию Ремера идея Декарта и поддержанная Гуком о том, что свет распространяется в пространстве мгновенно, была опровергнута. Но установление его движения в звездном пространстве привело к предположениям относительно его скорости в прозрачных земных веществах. "Показатель преломления" луча, проходящего из воздуха в воду, равен $4/3$. Ньютон предположил, что эти числа означают, что скорость света в воде равна 4, а в воздухе - 3; и из этого предположения он вывел явление преломления. Гюйгенс придерживался противоположной и более верной точки зрения. Согласно этому великому человеку, скорость света в воде равнялась 3, а в воздухе - 4; но как во времена Ньютона, так и в наши дни один и тот же великий принцип определял и определяет направление света во всех случаях. Проходя от точки к точке, какими бы ни были среды на его пути, или как бы они ни преломлялись или отражались, свет проходит путь, который занимает *наименьшее время*. Таким образом, на рис. 4, принимая во внимание его скорость в воздухе и в воде, свет достигает точки G из I быстрее, перемещаясь сначала в точку O и там меняя свой курс, чем если бы он шел прямо из точки I в точку G. Это легко понять, потому что в последнем случае он прошел бы большее расстояние по воде, которая является более замедляющей средой.

§ 6. Объяснение радуги Декартом.

Закон преломления Снелла является одним из краеугольных камней оптической науки, и его применение в наши дни огромно. Сразу же после его открытия Декарт применил его к объяснению радуги. Луч солнечного света, падающий косо на дождевую каплю, преломляется, попадая в нее. Частично он отражается на обратной стороне капли, а при выходе снова преломляется. За счет этих двух преломлений и этого единственного отражения свет попадает в глаз наблюдателя, обращенного к капле спиной к солнцу.

Представьте себе линию, проведенную от солнца через затылок к глазу наблюдателя и продолжающуюся за ним. Представьте себе вторую линию, проведенную от глаза к глазу и составляющую угол $42\frac{1}{2}^\circ$ с линией, проведенной от солнца. Вдоль этой второй линии дождевая капля, на которую падает солнечный луч, излучает в глаз красный свет. Каждая другая капля, расположенная аналогичным образом, то есть каждая капля на угловом расстоянии $42\frac{1}{2}^\circ$ от линии, проходящей через солнце и глаз, будет делать то же самое. Таким образом, образуется круглая полоса красного света, которую можно рассматривать как границу основания конуса, вершина которого находится в поле зрения наблюдателя. Из-за величины солнца угловая ширина этой красной полосы составит половину градуса.

Представьте, что от глаза наблюдателя требуется провести другую линию, охватывающую угол не $42\frac{1}{2}^\circ$, а $40\frac{1}{2}^\circ$, с продолжением линии, проведенной от солнца. Вдоль этой другой линии дождевая капля на ее удаленном конце при попадании солнечного луча будет посылать в глаз фиолетовый свет. Все капли на одинаковом угловом расстоянии будут делать то же самое, и поэтому мы получим полосу фиолетового света той же ширины, что и красная полоса. Эти две полосы составляют ограничивающие цвета радуги, а между ними лежат полосы, соответствующие другим цветам.

Таким образом, линия, проведенная от глаза к *середине* носа, и линия, проведенная через глаз к солнцу, всегда составляют угол около 41° . Объяснить это было большой трудностью, которая оставалась нерешенной вплоть до времен Декарта.

Взяв в руки перо и рассчитав с помощью закона Снелла путь каждого луча через дождевую каплю, Декарт обнаружил, что под определенным углом лучи, отраженные от ее обратной стороны, выходят из капли *почти параллельно друг другу*. Таким образом, им удалось сохранить свою интенсивность на больших атмосферных расстояниях. Под всеми другими углами лучи выходили из капли *расходящимися* из-за этого расходимости становились настолько ослабленными, что практически терялись для глаза. Упомянутый здесь угол параллельности составлял сорок один градус, который, как показали наблюдения, неизменно ассоциировался с радугой.

Из сказанного ясно, что два наблюдателя, стоящих рядом друг с другом или один над другим, более того, что даже два глаза одного и того же наблюдателя видят не совсем один и тот же лук. Положение основания конуса меняется вместе с положением его вершины. И здесь у нас не возникнет трудностей с ответом на часто задаваемый вопрос, а именно, видели ли когда-нибудь отражение радуги в воде. Видя два лука, один в небесах, другой в воде, вы могли бы прийти к выводу, что один имеет такое же отношение к другому, какое дерево на кромке воды имеет к своему отраженному изображению. Однако лучи, которые достигают глаза наблюдателя после отражения от воды и которые образуют дугу в воде, если бы их путь от ливня не прерывался,

сходились бы в точке вертикально под наблюдателем и настолько ниже уровня воды, насколько его глаз находится над ней. Но ни при каких обстоятельствах глаз, находящийся выше уровня воды, и глаз, находящийся ниже его, не могли бы увидеть один и тот же нос - другими словами, одни и те же капли дождя не могут образовывать отраженный нос и нос, видимый непосредственно в небесах. Таким образом, отраженный лук не является, в обычном оптическом смысле этого термина, *изображением* лука, видимого в небе.

§ 7. Анализ и синтез света. Учение о цветах.

В радуге было введено новое явление — феномен цвета. И здесь мы подходим к одному из тех моментов в истории науки, когда труды великих людей настолько переплетаются, что трудно выделить каждому работнику его точную меру отличия. Декарт был на пороге открытия состава солнечного света; но за Ньютоном оставалось провозглашение истинного закона. Он приступил к работе следующим образом: через закрытый ставень окна в комнате он проделал отверстие и пропустил через него тонкий солнечный луч. Луч осветил круглое белое изображение солнца на противоположной стене комнаты. На пути этого луча Ньютон поместил призму, ожидая увидеть преломленный луч, но также ожидая увидеть изображение солнца после преломления все еще круглым. К его удивлению, она превратилась в изображение, длина которого в пять раз превышала ширину. Более того, она больше не была белой, а была разделена на полосы разных цветов. Ньютон сразу увидел, что солнечный свет был *составным*, а не простым. Его удлиненное изображение показало ему тот факт, что некоторые составляющие света были сильнее отклонены призмой, чем другие, и поэтому он пришел к выводу, что белый свет представляет собой смесь огней разных цветов, обладающих разной степенью преломления.

Давайте воспроизведем этот знаменитый эксперимент. Теперь на экране изображен светящийся диск, который может обозначать ньютоновское изображение солнца. Заставляя луч (из апертуры L, рис. 7), который создает диск, проходить через линзу (E), мы формируем четкое изображение апертуры. Поместив на траекторию луча призму (P), мы получаем цветное изображение Ньютона с его красным и фиолетовым концами, которое он назвал *спектром*. Ньютон разделил спектр на семь частей — красную, оранжевую, желтую, зеленую, синюю, индиго, фиолетовую; которые обычно называют семью основными, или призматическими цветами. Превращение белого света в составляющие его цвета называется *дисперсией*.

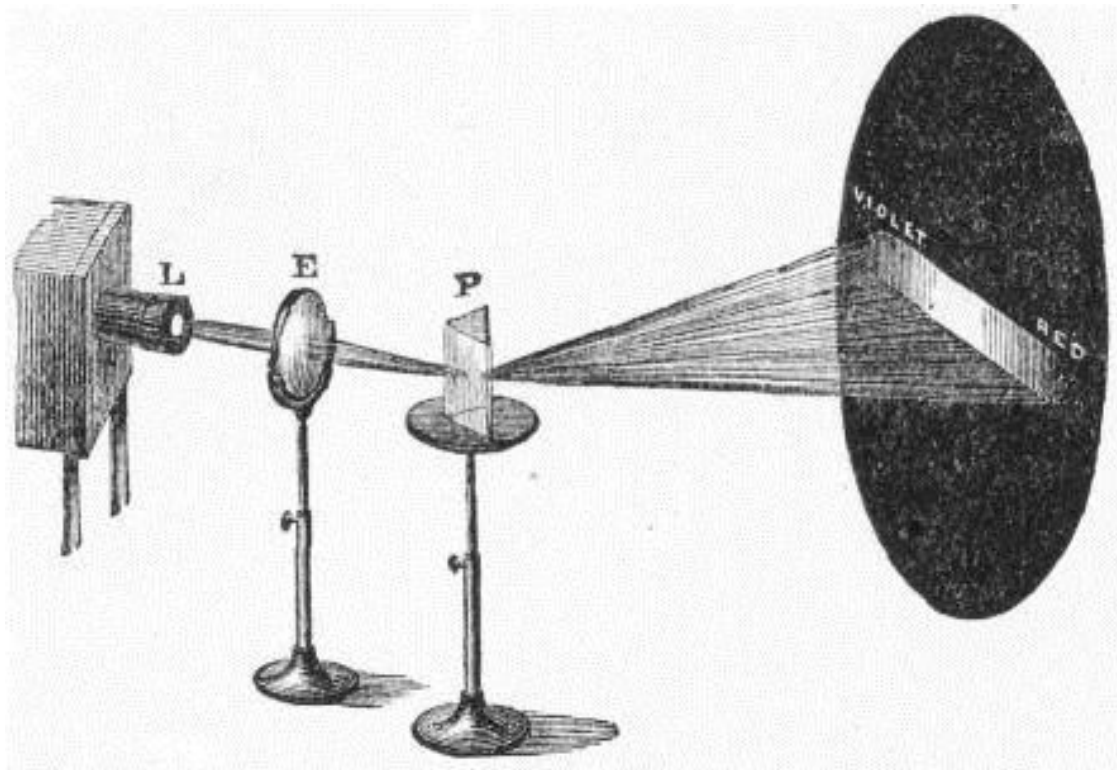


Рис. 7.

Это был первый *анализ* солнечного света, проведенный Ньютоном; но научный ум любит проверки и никогда не пренебрегает ими там, где это возможно. Ньютон завершил свое доказательство с помощью *синтеза* следующим образом: спектр, который сейчас перед вами, создается стеклянной призмой. В результате прохождения разложенного луча через вторую подобную призму, но расположенную таким образом, что цвета преломляются обратно и смешиваются заново, восстанавливается идеально белый светящийся диск.

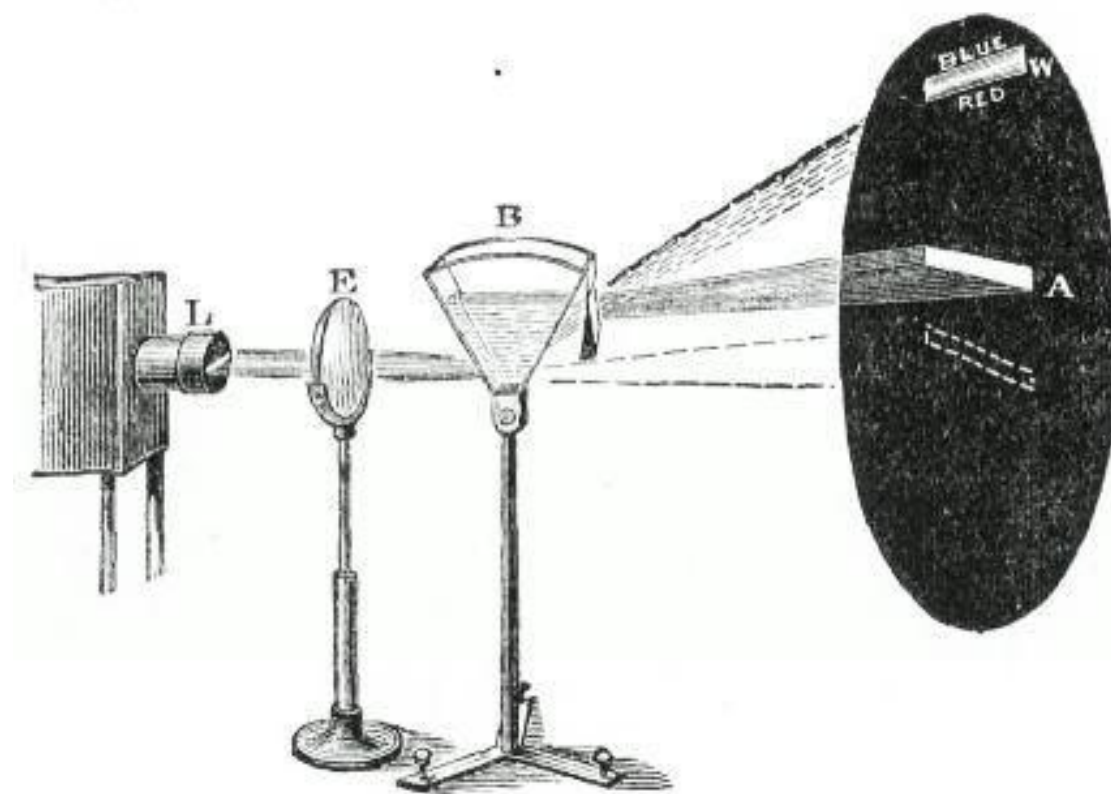


Рис. 8.

В этом случае преломление и дисперсия устраняются одновременно. Всегда ли они такие? Можем ли мы иметь одно без другого? Ньютон пришел к выводу, что мы не можем. Здесь он допустил ошибку, и его ошибка, которую он поддерживал до конца своей жизни, затормозила прогресс оптического открытия. Впоследствии Доллонд доказал, что, комбинируя два разных вида стекла, цвета могут быть погашены, все еще оставляя остаток преломления, и он использовал этот остаток при изготовлении ахроматических линз — линз, не дающих цвета, — что Ньютон считал невозможным. Путем установки водяной призмы — вода содержится в клиновидном сосуде со стеклянными стенками (Б, рис. 8) — в отличие от стеклянного клина (справа от В), этот момент можно проиллюстрировать перед вами. Прежде всего, у нас есть положение (пунктирное) неотражаемого луча, отмеченное на экране; затем мы создаем узкий спектр воды (W); наконец, используя призму из кремневого стекла, мы преломляем луч обратно, пока цвет не исчезнет (в точке А). Изображение щели теперь белое; но, хотя дисперсия устранена, остается очень заметное преломление.

Здесь уместно проиллюстрировать еще один момент, касающийся инструментальных средств, используемых в этих лекциях. Тела сильно отличаются друг от друга по своей способности преломлять и рассеивать свет. Обратите внимание на положение водного спектра на экране. Не меняя конкретно клиновидный сосуд, а просто заменяя воду прозрачным бисульфидом углерода, вы замечаете, насколько выше отбрасывается луч и насколько насыщеннее получается цветопередача. Чтобы увеличить размер нашего спектра, мы здесь используем (при L) щель вместо круглой апертуры.^[6]

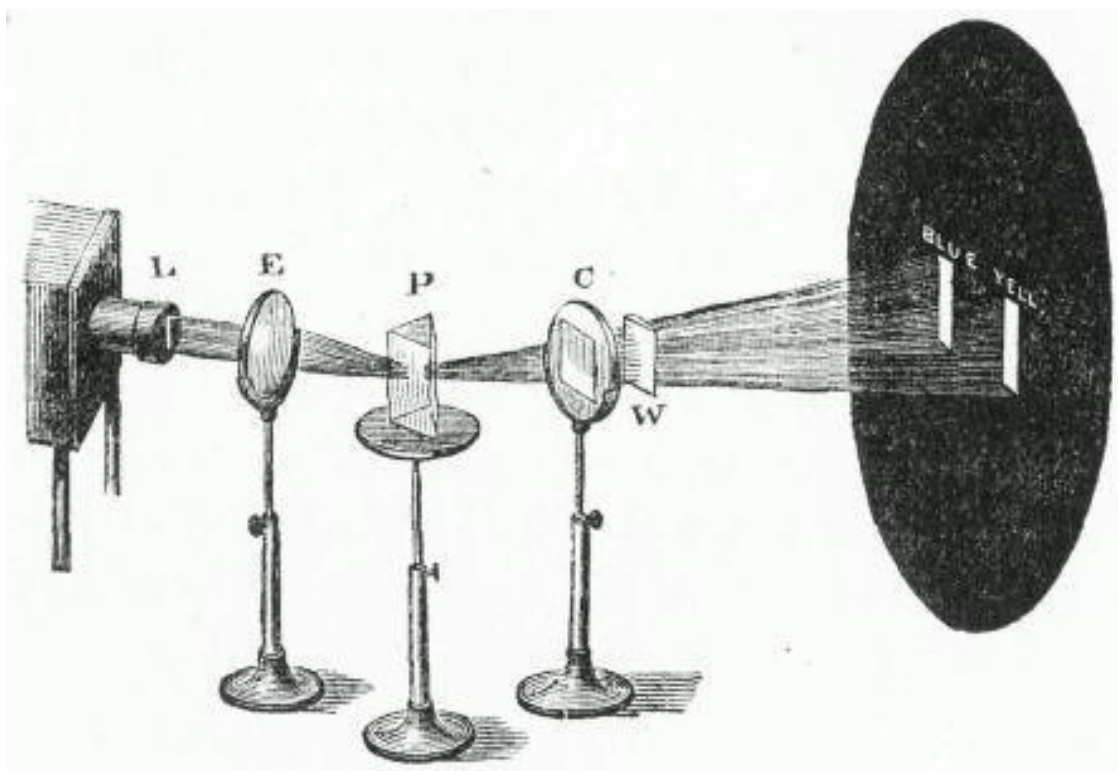


Рис. 9.

Синтез белого света может осуществляться тремя способами, каждый из которых заслуживает внимания: здесь, в первом случае, мы имеем богатый спектр, полученный в результате разложения луча (из L, рис. 9). Одна грань призмы (P) защищена диафрагмой (не показана на рисунке) с продольной щелью, через которую луч проходит в призму. С другой стороны он получается разложенным. Я пропускаю цвета через цилиндрическую линзу (C), которая настолько сжимает их вместе, что на экране получается четко очерченное прямоугольное изображение продольной щели. На этом изображении цвета смешиваются заново, и оно становится идеально белым. Между призмой и цилиндрической линзой видны цвета, проступающие сквозь пыль в комнате. Если отрезать карточкой более преломляющую бахромку, прямоугольник будет виден красным; если отрезать менее преломляющую бахромку, прямоугольник будет виден синим. С помощью тонкой стеклянной призмы (W) я отклоняю одну часть цветов, а оставляю остаточную часть. Теперь на экране два цветных прямоугольника, полученных таким образом. Это *дополнительные* цвета — цвета, которые в результате своего объединения дают белый цвет. Обратите внимание, что при разумном управлении один из этих цветов становится *желтым*, а другой — *синим*. Я снимаю тонкую призму; желтый и синий немедленно смешиваются, и в результате их объединения мы получаем *белый* цвет. Таким образом, на нашем пути мы устраняем ошибочное предположение, впервые выдвинутое Вюншем, а затем независимо Гельмгольцем, о том, что смесь синего и желтого огней дает зеленый.

Восстанавливая круглую апертуру, мы снова получаем спектр, подобный спектру Ньютона. С помощью объектива мы можем собрать эти цвета и свести их вместе, но не к изображению диафрагмы, а к изображению самих угольных точек.

Наконец, с помощью вращающегося диска, на котором по секторам распределены цвета спектра, мы смешиваем вместе призматические цвета в самом глазу и таким образом создаем впечатление белизны.

Разобрав переплетенные составляющие белого света, мы должны затем задаться вопросом, какую роль выявленная таким образом структура позволяет этому агенту играть в Природе? Ему мы обязаны всеми феноменами цвета, и все же не ему одному; ибо должна существовать определенная взаимосвязь между первичными частицами природных тел и белым светом, позволяющая им извлекать из него роскошь цвета. Но функция природных тел *здесь избирательная, а не созидательная*. Не существует цвета, *генерируемого* каким бы то ни было природным телом. Природные тела пролили на них в белом свете солнца совокупность всех возможных цветов; и их действие ограничено просеиванием этой совокупности — присвоением или поглощением одних ее составляющих и отбрасыванием других. Этот вопрос закрепится в вашем сознании, если я скажу, что именно та часть света, которую они отвергают, а не та, которую они присваивают или поглощают, придает телам их цвета.

Давайте начнем наши экспериментальные исследования с вопроса: что означает чернота? Пропустите черную ленту через цвета спектра; она гасит их все. Таким образом, раскрывается значение черноты — это результат поглощения всех составляющих солнечного света. Проведите красной лентой по спектру. В красном свете лента ярко-красная. Почему? Потому что свет, попадающий на ленту, не гасится и не поглощается, а в значительной степени направляется обратно в глаз. Поместите ту же ленту в зеленую часть спектра; она черная как смоль. Он поглощает зеленый свет и превращает пространство, на которое падает этот свет, в пространство интенсивной темноты. Поместите зеленую ленту в зеленую часть спектра. Он ярко сияет своим обычным цветом; перенесите его на красный, он будет черным, как смоль. Здесь он поглощает весь падающий на него свет и создает для глаз простую темноту.

Таким образом, когда используется белый свет, красный отсеивает его, гася зеленый, а зеленый отсеивает его, гася красный, при этом оба проявляют остаточный цвет. Следовательно, процесс, посредством которого природные тела приобретают свои цвета, является *негативным*. Цвета получаются путем вычитания, а не сложения. Это красное стекло красное, потому что оно уничтожает все более преломляемые лучи спектра. Эта синяя жидкость синяя, потому что она уничтожает все менее преломляемые лучи. Оба вместе непрозрачны, потому что свет, пропускаемый одним, гасится другим. Таким образом, соединяя два прозрачных вещества, мы получаем сочетание темного, как смоль, солнечного света. Эта другая жидкость, наконец, фиолетовая, потому что она уничтожает зеленый и желтый цвета и позволяет конечным цветам спектра проходить беспрепятственно. Из смешения синего и красного получается этот великолепный фиолетовый цвет.

Ради точности сделаем еще один шаг вперед. Свет, падающий на тело, делится на две части, одна из которых отражается от поверхности тела; и она того же цвета, что и падающий свет. Если падающий свет белый, то поверхностно отраженный свет также будет белым. Солнечный свет, например, отраженный от поверхности даже черного тела, является белым. Самый черный камфиновый дым в темной комнате, через который проходит солнечный луч из отверстия в оконном ставне, делает дорожку луча белой из-за света, рассеянного на поверхностях частиц сажи. Луна предстает перед нами как бы

"Облаченный в белое самитское, мистическое, чудесное";

но если бы его покрыли самым черным бархатом, он все еще висел бы в небесах в виде белого шара, освещая наш мир практически так же, как сейчас.

§ 8. Цвета пигментов в отличие от цветов света.

Вторая порция падающего света попадает на тело, и от его воздействия зависит цвет тела. И здесь уместно уделить некоторое время анализу действия пигментов на свет. Они состоят из мельчайших частиц, смешанных с носителем; но как бы тесно ни были смешаны частицы, они все равно остаются частицами, разделенными, возможно, чрезвычайно малыми расстояниями, но все же разделенными. Выражаясь научным языком, они не являются оптически непрерывными. Теперь, везде, где нарушается оптическая непрерывность, мы имеем отражение падающего света. Множество отражений на ограничивающих поверхностях частиц препятствует прохождению света сквозь снег, толченное стекло или обычную соль. Свет здесь рассеивается в виде эха, а не гасится истинным поглощением. Это тот же самый вид отражения, который делает грозовую тучу такой непроницаемой для света. Такое облако состоит из частиц воды, смешанных с частицами воздуха, прозрачных по отдельности, но практически непрозрачных при таком смешивании вместе.

Таким образом, в случае пигментов свет *отражается* от ограничивающих поверхностей частиц, но частично *поглощается* внутри частиц. Отражение необходимо, чтобы направить свет обратно в глаз; поглощение необходимо, чтобы придать телу его цвет. Те же замечания применимы и к цветам. Роза красная не из-за света, отраженного от ее поверхности, а из-за света, который проник в ее субстанцию, который отразился от внутренних поверхностей и который, возвращаясь *через* субстанцию, погасил свой зеленый цвет. Аналогичный процесс в случае твердых зеленых листьев гасит красный цвет и направляет зеленый свет от тела листьев к глазу.

Все тела, даже самые прозрачные, в большей или меньшей степени поглощают свет. Возьмем случай с водой. Стеклянная ячейка с чистой водой, помещенная на пути нашего луча, не изменяет заметно ни один из цветов спектра. И все же поглощение, хотя незаметное, здесь произошло, и, чтобы сделать его ощутимым, нам нужно только увеличить глубину воды, через которую проходит свет. Вместо ячейки толщиной в дюйм давайте возьмем слой толщиной в десять или пятнадцать футов: тогда цвет воды будет очень заметен. Увеличивая толщину, мы поглощаем больше света, а делая толщину очень большой, мы полностью поглощаем свет. Ламповая сажа или смола больше ничего не могут сделать, и единственное различие в этом отношении между ними и водой заключается в том, что в их случае достаточно очень небольшой глубины, чтобы погасить весь свет. Разница между наивысшей известной прозрачностью и наивысшей известной непрозрачностью заключается всего лишь в степени.

Таким образом, если мы поместим воду на достаточную глубину, чтобы погасить весь свет; и если из глубины воды свет не достигает глаза, мы получим условие, необходимое для создания черноты. При должном взгляде сверху вниз, есть участки Атлантического океана, которым вряд ли можно приписать хоть малейший след цвета: самое большее, глаз достигает оттенка темного индиго. Вода, на самом деле, практически *черная*, и это свидетельствует как о ее глубине, так и о чистоте. Но дело полностью меняется, когда океан содержит твердые частицы в состоянии механической взвеси, способной возвращать падающий на них свет обратно в глаз.

Бросьте, например, белый камешек или белую обеденную тарелку в самую черную воду Атлантики; по мере погружения они становятся все зеленее и зеленее и, прежде чем исчезнуть, приобретают ярко-сине-зеленый цвет. Разломайте такой камешек или пластинку на фрагменты, они будут вести себя как цельная масса: измельчите камешек в порошок, из каждой частички получится капелька зелени; и если частицы будут настолько мелкими, что останутся взвешенными в воде, рассеянный свет будет однородно зеленым. Отсюда зелень мелководья. Вы ложитесь спать, а вокруг вас черная вода Атлантики. Вы встаете утром, обнаруживаете, что вода ярко-зеленая, и правильно делаете вывод, что пересекаете берег Ньюфаундленда. Такая вода насыщена мелким веществом в состоянии механической взвеси. Иногда в игру может вступать свет со дна, но в этом нет необходимости. Подводная пена, образующаяся при вращении винтов или лопастных колес пароварки, также окрашивается в ярко-зеленый цвет. Пена здесь образует *отражающую поверхность*, а вода между глазом и ним - *поглощающую среду*.

Ничто не может быть великолепнее зелени атлантических волн, когда обстоятельства благоприятствуют проявлению этого цвета. Пока волна остается непрерывной, цвет не проявляется, но когда пена просто переваливает через гребень, как альпийский снежный карниз, под карнизом мы часто видим проявление самого изысканного зеленого цвета. Он металлический по своему блеску. Сначала освещается пена, и она рассеивает свет во всех направлениях; свет, проходящий только через верхнюю часть волны, достигает глаза и придает этой части ни с чем не сравнимый цвет. Изгиб волны, образующий при этом ряд продольных выступов и борозд, которые действуют как цилиндрические линзы, вносит изменения в интенсивность света и существенно усиливает его красоту.

Теперь мы готовы к дальнейшему рассмотрению пункта, о котором уже говорилось, и относительно того, какая ошибка была обнаружена лонгом сurrency. Во многих книгах вы найдете утверждение, что синий и желтый свет, смешанные вместе, дают зеленый цвет. Но только что было доказано, что синий и желтый являются взаимодополняющими цветами, которые своим сочетанием усиливают белый. Смесь синего и желтого *пигментов*, несомненно, дает зеленый цвет, но смесь пигментов совершенно отличается от смеси огней.

Гельмгольц раскрыл причину зеленого цвета, получаемого смесью синего и желтого пигментов. Ни один натуральный цвет не является *чистым*. Синяя жидкость или синий порошок пропускает через себя не только синий цвет, но и часть соседнего зеленого. Желтый порошок прозрачен не только для желтого света, но и частично для соседнего зеленого. Теперь, когда синий и желтый смешиваются вместе, синий отсекает желтый, оранжевый и красный; желтый, с другой стороны, отсекает фиолетовый, индиго и синий. Зеленый - единственный цвет, для которого оба прозрачны, и, как следствие, когда белый свет падает на смесь желтого и синего порошков, в глаз возвращается только зеленый. Вы уже видели, что мелкодисперсный синий сульфат аммиака меди пропускает большую часть зеленого цвета, в то же время отсекая весь менее преломляемый свет. Желтый раствор пикриновой кислоты также пропускает зеленый, но гасит более преломляемый свет. Что должно произойти, когда мы направляем луч через обе жидкости? Экспериментальный ответ на этот вопрос сейчас перед вами: на экране остается только зеленая полоса спектра.

Нечеткость натуральных цветов поразительно иллюстрируется наблюдением, недавно сообщенным мне мистером Вудбери. Посмотрев через синее стекло на зеленые листья в

солнечном свете, он увидел поверхностно отраженный светло-голубой цвет. Свет, напротив, который исходил от тела листьев, был малиновым. При исследовании я обнаружил, что стекло, использованное в этом наблюдении, пропускало оба конца спектра, как красный, так и синий, и что оно гасило середину. Это дало простое объяснение полученному эффекту. Нежная весенняя листва по большей части поглощает синеву солнечного света, и свет, в основном желтовато-зеленый, но содержащий значительное количество красного, проникает от листа к глазу. При взгляде на такую листву через фиолетовое стекло зеленый и желтый цвета исчезают, и только красный достигает глаз. Таким образом, при таком рассмотрении листья выглядят как слегка краснеющие розы и имеют очень красивый внешний вид. С синим аммиаком-сульфатом меди, который не пропускает красный цвет, такого эффекта не получается.

С наступлением года малиновый цвет постепенно затвердевает до медно-красного, а на темно-зеленых листьях старого плюща его почти нет. Если позволить лучу белого света упасть на свежие листья в темной комнате, то внезапный переход от зеленого к красному и от красного обратно к зеленому при попеременном введении и извлечении фиолетового стекла очень удивителен. При взгляде через то же стекло майские луга кажутся тепло-фиолетовыми. Превосходный эффект достигается также при использовании раствора перманганата калия, который, хотя и гасит центр спектра, позволяет его концам проходить более свободно, чем фиолетовому стеклу.[7]

Этот вопрос поглощения, рассматриваемый применительно к его молекулярному механизму, является одним из самых тонких и сложных в физике. Мы еще не в том состоянии, чтобы справиться с этим, но постепенно будем в состоянии. А пока мы можем с пользой оглянуться назад на сеть отношений, которую открывают нам эти эксперименты. Во-первых, в солнечном свете мы имеем дело с агентом чрезвычайной сложности, состоящим из бесчисленных составляющих, преломляющихся в разной степени. Во-вторых, мы обнаруживаем, что атомы и молекулы тел одарены способностью пропускать солнечный свет самыми различными способами и производить посредством этого пропускания цвета, наблюдаемые в природе и искусстве. Для этого они должны обладать молекулярной структурой, соизмеримой по сложности со структурой самого света. В-третьих, у нас есть человеческий глаз и мозг, организованные таким образом, чтобы воспринимать и различать множество создаваемых таким образом впечатлений. Следовательно, исходящий свет сложен; чтобы просеять и отобрать его таким образом, природные тела должны быть сложными; в то время как для восприятия создаваемых таким образом впечатлений человеческий глаз и мозг, как бы мы ни упрощали наши представления об их действии,[8] должны быть очень сложными.

Откуда эта тройная сложность? Если бы то, что называется материальными целями, было единственной целью, которой можно было бы достичь, было бы достаточно гораздо более простого механизма. Но вместо простоты мы имеем расточительность отношений и адаптации — и это, по-видимому, с единственной целью - дать нам возможность видеть вещи, облаченные в великолепие красок. Не кажется ли вам, что Природа вынашивала намерение приучить нас к другим удовольствиям, кроме тех, которые можно получить от мяса и питья? В любом случае, что бы ни имела в виду Природа — а было бы чистой самонадеянностью догматизировать относительно того, что она имела в виду, — мы обнаруживаем, что в результате ее действий мы наделены не только способностями наслаждаться материально полезным, но и другими способностями неопределенного масштаба и применения, которые имеют дело только с прекрасным и истинным.

ЛЕКЦИЯ II.

ПРОИСХОЖДЕНИЕ ФИЗИЧЕСКИХ ТЕОРИЙ
РАЗМАХ ВОООБРАЖЕНИЯ
НЬЮТОН И ТЕОРИЯ ИЗЛУЧЕНИЯ
ПРОВЕРКА ФИЗИЧЕСКИХ ТЕОРИЙ
СВЕТОНОСНЫЙ ЭФИР
ВОЛНОВАЯ ТЕОРИЯ СВЕТА
ТОМАС ЯНГ
ФРЕНЕЛЬ И АРАГО
КОНЦЕПЦИЯ ВОЛНОВОГО ДВИЖЕНИЯ
ИНТЕРФЕРЕНЦИЯ ВОЛН
СТРОЕНИЕ ЗВУКОВЫХ ВОЛН
АНАЛОГИИ ЗВУКА И СВЕТА
ИЛЛЮСТРАЦИИ ВОЛНОВОГО ДВИЖЕНИЯ
ИНТЕРФЕРЕНЦИЯ ЗВУКОВЫХ ВОЛН
ОПТИЧЕСКИЕ ИЛЛЮСТРАЦИИ
ВЫСОТА И ЦВЕТ
ДЛИНЫ СВЕТОВЫХ ВОЛН И СКОРОСТИ ВИБРАЦИИ
ЭФИРНЫХ ЧАСТИЦ
ИНТЕРФЕРЕНЦИЯ СВЕТА
ЯВЛЕНИЯ, КОТОРЫЕ ВПЕРВЫЕ ПРЕДЛОЖИЛИ ВОЛНОВУЮ ТЕОРИЮ
БОЙЛЯ И ГУКА
ЦВЕТА ТОНКИХ ПЛАСТИНОК
МЫЛЬНЫЙ ПУЗЫРЬ
КОЛЬЦА НЬЮТОНА
ТЕОРИЯ "ПОДГОНКИ"
ЕЕ ОБЪЯСНЕНИЕ КОЛЕЦ
ОПРОВЕРГАЕТ ТЕОРИЮ
ДИФРАКЦИИ СВЕТА
ЦВЕТА, ПОЛУЧАЕМЫЕ ДИФРАКЦИЕЙ
ЦВЕТА ПЕРЛАМУТРА.

§ 1. Происхождение и сфера применения физических теорий.

Мы могли бы бесконечно варьировать и расширять наши эксперименты со Светом, и они, несомненно, доказали бы, что мы обладаем удивительным мастерством владения этими явлениями. Но таким образом будет раскрыта только оболочка действующего лица, а не сам

действующий. Человеческий разум, однако, устроен так, что он никогда не может быть удовлетворен этим внешним взглядом на естественные вещи. Яркость и свежесть овладевают разумом, когда его освещает свет принципов, демонстрирующий органическую связь между фактами Природы.

Давайте тогда спросим, что это за вещь, которую мы генерируем, отражаем, преломляем и анализируем.

Делая это, мы узнаем, что жизнь философа-экспериментатора двояка. По своему призванию он живет жизнью чувств, используя свои руки, глаза и уши в своих экспериментах; но такой вопрос, как стоящий сейчас перед нами, выводит его за пределы чувств. Он не может рассмотреть вопрос "Что такое свет?", не говоря уже о том, чтобы ответить на него, не перенесясь в мир, который лежит в основе чувственного мира и из которого проистекают все оптические явления. Чтобы осознать этот субчувственный мир, разум должен обладать определенной изобразительной силой. Оно должно быть способно формировать определенные образы вещей, которые содержит этот мир; и говорить, что, если то или иное состояние вещей существует в субчувственном мире, то явления чувственного мира с необходимостью должны проистекать из этого состояния вещей. Таким образом, формируются физические теории, истинность которых определяется их способностью объяснять известное и предсказывать неизвестное.

Эта концепция физической теории подразумевает, как вы понимаете, упражнение воображения — слово, которое, кажется, вызывает неловкость у многих уважаемых людей, как в рядах науки, так и вне их. То, что люди в рядах науки должны так думать, я думаю, является доказательством того, что они позволили ввести себя в заблуждение популярным определением великой способности, вместо того чтобы наблюдать ее действие в своих собственных умах. Без воображения мы не можем сделать ни шага за пределы простого животного мира, возможно, даже к краю этого мира. Но, говоря таким образом о воображении, я имею в виду не буйную силу, которая капризно обращается с фактами, а хорошо упорядоченную и дисциплинированную силу, единственной функцией которой является формирование таких концепций, каких настоятельно требует интеллект. Воображение, упражняемое таким образом, никогда по-настоящему не отрывается от мира фактов. Это хранилище, из которого черпаются его материалы; и магия его искусства состоит не в создании вещей заново, а в таком изменении величины, положения, группировки и других отношений чувственных вещей, чтобы сделать их пригодными для требований интеллекта в субчувственном мире.^[9]

Декарт представлял себе пространство заполненным чем-то, что пропускает свет *мгновенно*. Во-первых, потому, что, по его опыту, не было известно никакого измеримого интервала между появлением вспышки света, какой бы отдаленной она ни была, и ее воздействием на сознание; и, во-вторых, потому, что, насколько ему было известно, никакая физическая энергия не передается с места на место без носителя. Но его воображение пошло дальше, обратившись к иллюстрациям, взятым из мира фактов. "Когда, - говорит он, - кто-то идет в темноте с посохом в руке, в тот момент, когда дальний конец посоха натывается на препятствие, рука чувствует это. Это объясняет то, что в противном случае могло бы показаться странным, - то, что свет от солнца достигает нас мгновенно. Я хочу, чтобы ты поверил, что свет в телах, которые мы называем светящимися, есть не что иное, как очень быстрое и сильное движение, которое с помощью воздуха и других прозрачных сред передается глазу, точно так же, как удар через

трость достигает руки слепого человека. Это происходит мгновенно, и было бы так даже в том случае, если бы расстояние между ними было больше, чем между землей и небом. Следовательно, не более необходимо, чтобы что-либо материальное попало в глаз от светящегося объекта, чем чтобы что-то попало с земли в руку слепого, когда он осознает удар своего посоха ". Знаменитый Роберт Гук сначала поставил под сомнение эту идею Декарта, но впоследствии он в значительной степени поддержал ее. Вера в мгновенную передачу была разрушена открытием Ремера, о котором говорилось в нашей прошлой лекции.

§ 2. Эмиссионная теория света.

Случай Ньютона еще более убедительно иллюстрирует положение о том, что при формировании физических теорий мы опираемся в качестве наших материалов на мир фактов. Прежде чем он начал иметь дело со светом, он был близко знаком с законами упругого столкновения, которые все вы видели более или менее прекрасно проиллюстрированными на бильярдном столе. Что касается столкновения ощутимых упругих масс, Ньютон знал, что угол падения равен углу отражения, и он также знал, что эксперимент, как показано в нашей последней лекции (рис. 3), установил тот же закон в отношении света. Таким образом, он нашел в своих предыдущих знаниях материал для теоретических образов. Ему нужно было только изменить масштаб концепций, уже существовавших в его уме, чтобы прийти к Теории излучения света. Ньютон предположил, что свет состоит из упругих частиц немыслимой величины, выбрасываемых с немыслимой скоростью светящимися телами. Оптическое отражение, безусловно, происходило, *как если бы* свет состоял из таких частиц, и это было оправданием Ньютона для их введения.

Но это еще не все. И в другом важном аспекте концепции Ньютона относительно природы света также находились под влиянием его предыдущих знаний. Он размышлял о явлении всемирного тяготения и чувствовал себя как дома среди действий этой вселенской силы. Возможно, его ум в то время был слишком свеж и слишком глубоко проникнут этими представлениями, чтобы позволить ему сформировать неограниченное суждение о природе света. Как бы то ни было, Ньютон видел в преломлении результат силы притяжения, действующей на частицы света. Он проводил свою концепцию с самой строгой последовательностью. Падая вертикально вниз по направлению к поверхности земли, движение тела ускоряется по мере приближения к земле. Падая вниз по направлению к горизонтальной поверхности — скажем, из воздуха на стекло или воду, — скорость световых частиц, когда они приближаются к поверхности, согласно Ньютону, также ускоряется. Приближаясь к такой поверхности наклонно, он предположил, что частицы, находясь близко к ней, будут притягиваться к ней, подобно тому, как снаряд под действием силы тяжести отклоняется к поверхности земли. Это отклонение, согласно Ньютону, было преломлением, наблюдавшимся в нашей последней лекции (рис. 4). Наконец, предполагалось, что различия в цвете могут быть вызваны различиями в "величине" частиц. Такова была физическая теория света, провозглашенная и защищенная Ньютоном; и вы заметите, что она просто заключается в переносе концепций, рожденных в мире чувств, в мир субчувственный.

Но, хотя область физической теории лежит, таким образом, за миром чувств, проверки теории происходят в этом мире. Кладя теоретическую концепцию в основу вопроса, мы дедуктивно определяем, какие явления с необходимостью должны произрасти из этого корня. Если выведенные таким образом явления согласуются с явлениями реального мира, это является предположением в пользу теории. Если по мере возникновения новых классов явлений

обнаруживается, что они также согласуются с теоретической дедукцией, предположение становится еще сильнее. Если, наконец, теория наделяет исследователя пророческим видением, позволяя ему предсказывать возникновение явлений, которых еще никто не видел, и если в ходе судебного разбирательства эти предсказания оказываются абсолютно правильными, убежденность в истинности теории становится непреодолимой.

Таким образом, отталкиваясь от ограниченного числа явлений, человеческий разум с помощью своей собственной экспансивной силы достигает концепции, которая охватывает их все. Нет более удивительного проявления интеллекта, чем это; но мы не можем дать о нем отчета. Подобно библейскому дару Духа, ни один человек не может сказать, откуда он приходит. Переход от факта к принципу происходит иногда медленно, иногда быстро и всегда является источником интеллектуальной радости. Когда удовольствие быстрое, оно концентрируется и становится своего рода экстазом или опьянением. Для любого, кто испытал это удовольствие, даже в умеренной степени, становится понятным поступок Архимеда, когда он вышел из ванны и голым побежал с криком "Эврика!" по улицам Сиракуз.

Как же тогда обстояли дела с Эмиссионной теорией, когда выводы из нее были поставлены лицом к лицу с природными явлениями? Проверенный экспериментом, он был признан способным объяснить многие факты, и с необыкновенной изобретательностью его автор стремился объяснить все. Он преуспел настолько, что среди его учеников были такие знаменитые люди, как Лаплас и Малюс, дожившие до 1812 года, и Био и Брюстер, дожившие до наших дней.

§ 3. Волновая теория света.

Тем не менее, даже на раннем этапе существования Эмиссионной теории один или два великих человека придерживались другой. Они представляют собой еще одну иллюстрацию закона, согласно которому при формировании теорий научное воображение должно черпать свои материалы из мира фактов и опыта. Давным-давно было известно, что звук передается волнами или импульсами по воздуху; и как только эта истина прочно укоренилась в сознании, она легла в основу теоретической концепции. Предполагалось, что свет, как и звук, также может быть продуктом волнового движения. Но что в таком случае могло быть материалом, формирующим волны? Для волн звука у нас есть воздух нашей атмосферы; но размах воображения, наполнивший все пространствосветоносным эфиром, дрожащим от волн света, был настолько смелым, что потряс осторожные умы. В одной из моих последних бесед с сэром Дэвидом Брюстером он сказал мне, что его главным возражением против волновой теории света было то, что он не мог думать, что Создатель способен на такое неуклюжее изобретение, как заполнение пространства эфиром для производства света. Это, я могу сказать, очень опасная почва, и спор науки с сэром Дэвидом по этому вопросу, как и со многими уважаемыми людьми по другим вопросам, заключается в том, что они утверждают, что слишком много знают о разуме Создателя.

Эту концепцию эфира отстаивал и успешно применял к различным явлениям оптики знаменитый астроном Гюйгенс. Он вывел из нее законы отражения и преломления и применил их для объяснения двойного преломления исландского шпата. Теорию поддерживал и защищал знаменитый математик Эйлер. Однако им противостоял Ньютон, чей авторитет в то время подавлял их. Или, лучше сказать, это был просто авторитет? Не совсем так. Перевес Ньютона был в какой-то степени обусловлен тем фактом, что, хотя Гюйгенс и Эйлер были в

основном правы, они не обладали достаточными данными, чтобы *доказать* свою правоту. Никакой человеческий авторитет, каким бы высоким он ни был, не может противостоять голосу Природы, говорящему посредством эксперимента. Но голос Природы может быть неуверенным из-за скудости данных. Так было в тот период, о котором идет речь, и в такой период, согласно авторитету Ньютона, все антагонисты были естественным образом побеждены.

Движение разума ритмично, неравномерно, и эта великая Теория излучения, которая так долго держалась на ногах, напоминала один из тех кругов, которые, согласно вашему соотечественнику Эмерсону, непостоянная сила гения периодически замыкает вокруг деятельности интеллекта, но которые в конце концов прорываются под давлением сзади. В 1773 году в Милвертоне, в Сомерсетшире, родился такой нарушитель круга. Он получил образование для профессии врача, но был слишком силен, чтобы быть привязанным к профессиональной рутине. Он посвятил себя изучению естественной философии и стал мастером во всех ее отделах. Он также был мастером литературы. Языки, древние и современные, хранились в его мозгу, и, если воспользоваться словами из его эпитафии, "он первым проник во мрак, который веками скрывал египетские иероглифы". На долю этого человека выпало открывать факты в оптике, которые теория Ньютона была неспособна объяснить, и его ум блуждал в поисках достаточной теории. Он познакомился со всеми явлениями волнового движения; со всеми явлениями звука; успешно работая в этой области как оригинальный первооткрыватель. Таким образом, информированный и дисциплинированный, он был готов обнаружить любое сходство, которое могло проявиться между явлениями света и волновым движением. Такое сходство он действительно обнаружил; и, подстегнутый этим открытием, он продолжил свои рассуждения и эксперименты, пока ему, наконец, не удалось положить в основу Волновой теории света незыблемую основу.

Основателем этой великой теории был Томас Янг, имя, возможно, незнакомое многим из вас, но которое должно быть знакомо вам всем. Поэтому позвольте мне с помощью своего рода геометрической конструкции, которую я однажды рискнул применить в Лондоне, дать вам представление о величии этого человека. Пусть Ньютон стоит прямо в своем возрасте и молод в своем. Проведите прямую линию от Ньютона до Янга, касательную к головам обоих. Эта линия должна была наклоняться вниз от Ньютона к Янгу, потому что Ньютон, безусловно, был более высоким мужчиной из них двоих. Но склон не был бы крутым, поскольку разница в росте не была чрезмерной. Линия образовывала бы то, что инженеры называют пологим уклоном от Ньютона к Янгу. Поместите под этой линией самого крупного мужчину, родившегося в промежутке между обоими. Можно усомниться, достигнет ли он этой черты, потому что если бы он это сделал, то был бы интеллектуально выше Молодых людей, а выше их, вероятно, не было никого. Но я не хочу, чтобы вы опирались на английские оценки Юнга; немец Гельмгольц, родственник ему гений, так отзывался о нем: "Он был одним из самых глубоких умов, которые когда-либо видел мир; но он имел несчастье слишком опередить свой возраст. Он вызывал удивление своих современников, которые, однако, не смогли последовать за ним к тем высотам, на которых привык парить его смелый интеллект. Таким образом, его самые важные идеи были похоронены и забыты в фолиантах Королевского общества, пока новое поколение постепенно и мучительно не сделало те же открытия и не доказало точность его утверждений и истинность его демонстраций".

Совершенно верно, как говорит Гельмгольц, что Янг опередил свой возраст; но следует добавить кое-что, иллюстрирующее ответственность наших публичных авторов. В течение

двадцати лет этот гениальный человек был подавлен — скрыт от оценивающего интеллекта своих соотечественников - и фактически считался мечтателем из—за энергичного сарказма писателя, который в то время пользовался вниманием публики и который в "*Эдинбург Ревью*" высмеял Янга и его домыслы. Прежде всего, он был обязан знаменитым французам Френелю и Араго восстановлением своих прав, поскольку они, особенноэлли Френель, независимо переделали и значительно расширили его открытия. Изучающим его работы Янг уже давно предстал в своем истинном свете, но эти двадцать пустых лет вытеснили его из общественного сознания, которое со временем наполнилось славой коллеги Янга по Королевскому институту Дэви, а затем и славой Фарадея. Карлайл ссылается на замечание Новалиса о том, что доверие человека к себе чрезвычайно возрастает в тот момент, когда он обнаруживает, что другие верят в него. Если верно противоположное замечание — если это факт, что общественное недоверие ослабляет силу человека, — то невозможно подсчитать размер ущерба, который эти двадцать лет пренебрежения могли нанести продуктивности Янга какисследователя. Остается установить, что нападавшим на него был мистер Генри Броэм, впоследствии лорд-канцлер Англии.

§ 4. Волновое движение, интерференция волн, "Водоворотные пороги" Ниагары.

Сейчас нам предстоит самая тяжелая работа. Но способность к тяжелой работе в значительной степени зависит от предшествующего свертывания воли; поэтому я хотел бы призвать вас препоясать свои чресла для предстоящих трудов.

В самых ранних произведениях древних мы находим представление о том, что звук передается воздухом. Аристотель дает выражение этому понятию, а великий архитектор Витрувий сравнивает звуковые волны с волнами воды. Но реальный механизм волнового движения был скрыт от древних и действительно не был прояснен до времен Ньютона. Основная трудность предмета заключалась в том, чтобы провести различие между движениемсамой волны и движением частиц, которые в любой момент составляют волну.

Встаньте на берегу моря и понаблюдайте за движущимися роликами, пока они не деформировались из-за трения о дно. У каждой волны есть спина и фронт, и, если вы четко поймете изображение движущейся волны, вы увидите, что каждая частица воды вдоль фронта волны находится в процессе подъема, в то время как каждая частица вдоль ее задней части находится в процессе погружения. Частицы, находящиеся впереди, последовательно достигают гребня волны, и как только гребень проходит, они начинают падать. Затем они достигают борозды илипазухи волны и не могут опускаться дальше. Сразу после этого они становятся фронтом следующей волны, снова поднимаются, пока не достигнут гребня, а затем опускаются, как и раньше. Таким образом, в то время как волны проходят вперед по горизонтали, отдельные частицы просто поднимаются вверх и опускаются по вертикали. Понаблюдайте за морской птицей или, если вы пловец, отдайтесь действию волн; вас не несет вперед, а просто покачивает вверх-вниз. Распространение волны - это распространение *формы*, а не перенос вещества, из которого состоит волна.

The *Длина* волны равна расстоянию от гребня до гребня, в то время как расстояние, на котором колеблются отдельные частицы, называется *амплитудой* колебаний. Вы заметите, что в этом описании частицы воды заставлены вибрировать *поперек* линии распространения.^[10]

А теперь нам нужно сделать шаг вперед, и это самый важный шаг из всех. Вы можете представить две серии волн, исходящих из разных источников по одной и той же воде. Когда, например, вы бросаете два камня в спокойную воду, кольцевые волны, исходящие от двух центров возмущения, пересекаются друг с другом. Теперь, независимо от того, насколько многочисленными могут быть эти волны, справедлив закон, согласно которому движение каждой частицы воды является алгебраической суммой всех сообщенных ей движений. Если гребень совпадает с гребнем и борозда с бороздой, волна поднимается на двойную высоту над своей пазухой; если борозда совпадает с гребнем, движения противоположны и их сумма равна нулю. Тогда у нас есть *негазированная* вода. Это воздействие волны на волну технически называется *интерференцией*, этот термин следует запомнить.

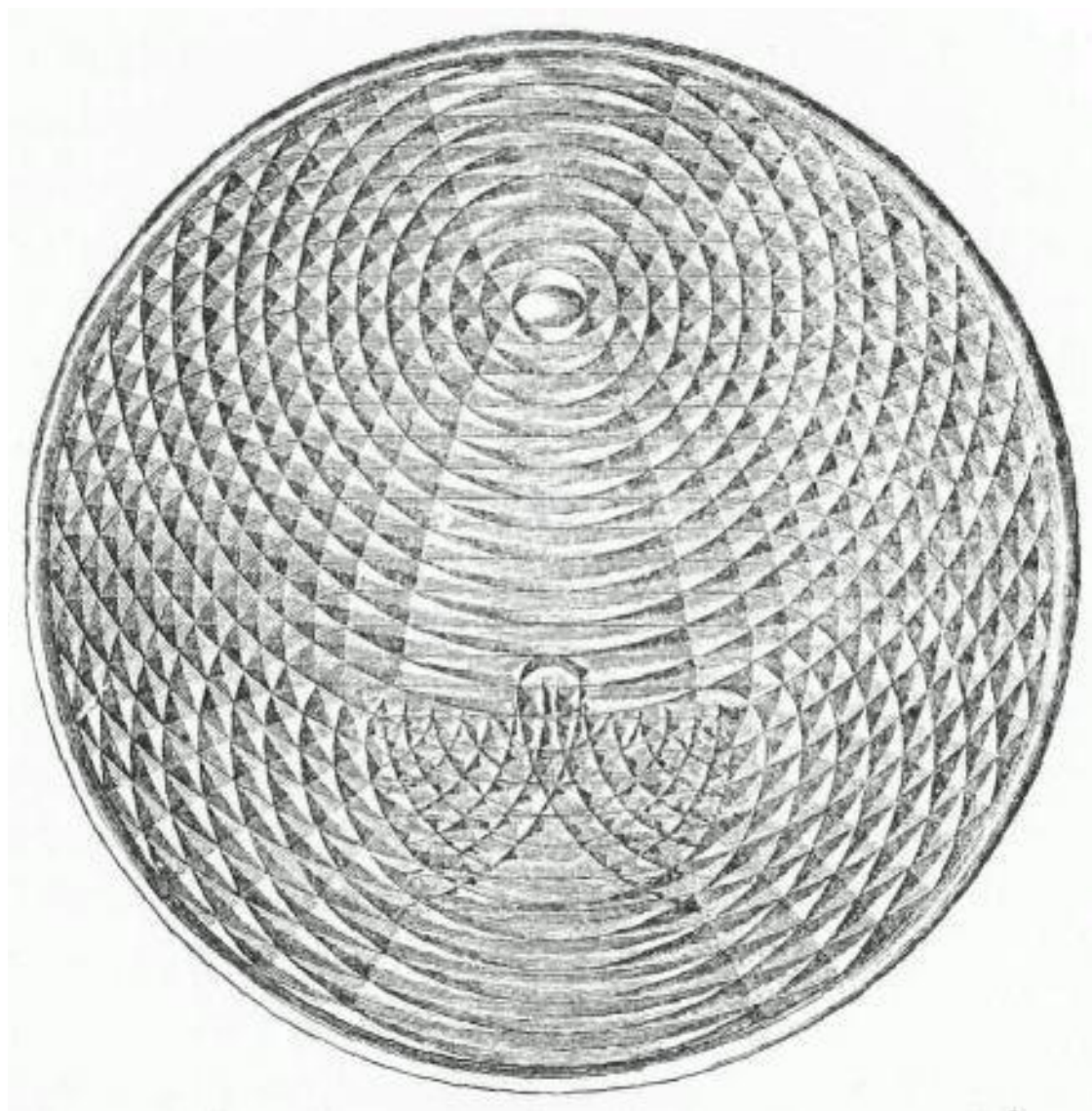


Рис. 10.

Для глаза человека, знакомого с этими принципами, ничто не может быть интереснее пересечения водной ряби. Из-за их вмешательства поверхность воды иногда превращается в красивейшую мозаику, ритмично подрагивающую, словно под некую видимую музыку. Когда волны искусно генерируются в чашке из ртути, сильный свет, падающий на блестящую

поверхность и отражающийся на экране, показывает движение жидкого металла. Форма сосуда определяет формы получаемых фигур. Например, в круглой тарелке возмущение в центре распространяется в виде серии круговых волн, которые после отражения снова встречаются в центре. Если точка возмущения немного удалена от центра, интерференция прямой и отраженной волн создает великолепную чеканку, показанную на прилагаемом рисунке.^[11] Свет, отраженный от такой поверхности, создает узор необычайной красоты. Когда острием иглы слегка ударяют по ртути в направлении, concentрической поверхности сосуда, линии света закручиваются в причудливые спирали, чудесным образом переплетаясь и распутываясь. Когда судно имеет квадратную форму, пересечение прямых и отраженных волн создает великолепную шахматную фигуру. Таким образом, в случае движения волн самые обычные причины приводят к самым изысканным эффектам. Здесь вполне применимы слова Эмерсона:

"Ты не можешь взмахнуть своим посохом в воздухе,
Или окунуть весло в озеро,
Но оно высекает там прекрасное чело.
И рябь в рифмах, от которых отказываются весла".

Самая впечатляющая иллюстрация воздействия волн на волны, которую я когда-либо видел, происходит недалеко от Ниагары. На расстоянии двух миль или около того ниже водопада река Ниагара невозмутимо течет по своему вырытому ущелью. Впоследствии русло сужается, и вода ускоряет свое движение. В месте, называемом "Водоворотные пороги", я оценил ширину реки в 300 футов, и эта оценка была подтверждена жителями на месте. Если вспомнить, что сток почти половины континента втиснут в это пространство, можно представить стремительность течения реки через это ущелье.

Здесь, очевидно, действуют два вида движения: поступательное и волнообразное — бег реки по ее ущелью и огромные волны, возникающие при столкновении с препятствиями на ее пути. В середине течения прилив и качка наиболее сильны; во всяком случае, стремительная сила отдельных волн проявляется здесь наиболее ярко. Огромные пирамидальные нагромождения непрерывно выпрыгивают из реки, некоторые из них с такой энергией, что вздымают свои вершины в воздух, где они висят, подвешенные, как пучки жидкого жемчуга, которые, освещенные солнцем, обладают неопишуемой красотой.

Первое впечатление и, действительно, текущее объяснение этих Порогов заключается в том, что центральное русло реки загромождено большими валунами, и что толчки, подбрасывание и дикие подскоки воды там происходят из-за ее столкновения с этими препятствиями. На месте мне пришло в голову совсем другое объяснение. Валуны, добытые с соседних утесов, заметно загромождают берега реки. Против них вода поднимается и опускается ритмично, но яростно, таким образом образуются большие волны. При возникновении каждой волны происходит немедленное смешение волнового движения с движением реки. Гребни, которые в стоячей воде шли бы круговыми изгибами вокруг центра возмущения, пересекают реку наискось, и в результате в центре смешиваются волны, которые на самом деле образовались по бокам. Это пересечение волн можно увидеть в небольшом масштабе в любом желобе после дождя; это также можно увидеть при простом наливании воды из кувшина с широкими горлышками. Там, где гребень и борозда пересекают друг друга, волна аннулируется; там, где борозда

пересекается, река вспахивается на большую глубину; а там, где гребень и гребень помогают друг другу, мы имеем тот удивительный скачок воды, который нарушает сцепление гребней и подбрасывает их вдребезги в воздух. Явления, наблюдаемые на порогах Водоворота, фактически представляют собой одну из величайших иллюстраций принципа интерференции.

§ 5. Аналогии звука и света.

Фундаментальное открытие Томаса Янга в области оптики заключалось в том, что принцип интерференции применим к свету. Задолго до него итальянский философ Гримальди заявил, что при определенных обстоятельствах два тонких луча света, каждый из которых, действуя по отдельности, создает светящееся пятно на белой стене, при совместном воздействии частично гасят друг друга и затемняют пятно. Это утверждение имело фундаментальное значение, но потребовались открытия и гений Янга, чтобы придать ему смысл. Как он это сделал, вам постепенно станет ясно. Вы знаете, что воздух сжимаем: что под действием давления он может стать более плотным, а при расширении - более разреженным. Должным образом взволнованный камертон теперь звучит так, что его слышно всем вам, и большинство из вас знает, что воздух, через который проходит звук, разделен на пространства, в которых воздух конденсируется, за которыми следуют другие пространства, в которых воздух разрежен. Эти уплотнения и разрежения составляют то, что мы называем *волнами* звука. Вы можете представить себе воздух в комнате, через который проходит серия таких волн, и вы можете представить себе вторую серию, проходящую через тот же воздух, и настолько связанную с первой, что конденсация совпадает с конденсацией, а разрежение с разрежением. Следствием этого совпадения был бы более громкий звук, чем тот, который издает любая система волн, взятая по отдельности. Но вы также можете представить себе положение вещей, при котором конденсации одной системы приходятся на разрежения другой системы. В этом случае (при прочих равных условиях) две системы полностью нейтрализовали бы друг друга. Каждая из них, взятая по отдельности, производит звук; обе они, взятые вместе, звука не производят. Таким образом, добавляя звук к звуку, мы создаем тишину, как Гримальди в своем эксперименте создал темноту, добавляя свет к свету.

Благодаря своим плодотворным и глубоким исследованиям звука Янг приблизился к изучению света. Он придал значение наблюдению Гримальди и значительно расширил его. С блестящим успехом он применил волновую теорию для объяснения цвета тонких пластинок и полосатых поверхностей. Он обнаружил и объяснил классы цветов, которые ранее были незамечены или неизвестны. Исходя из предположения, что свет - это волновое движение, были объяснены все его эксперименты по интерференции; исходя из предположения, что свет - это летящие частицы, ничего объяснено не было. Во времена Гюйгенса и Эйлера предполагалась среда для передачи волн света; но Ньютон выдвинул возражение, что, если бы свет состоял из волн такой среды, тени не могли бы существовать. Волны, утверждал он, будут огибать непрозрачные тела и вызывать движение света за ними, подобно тому, как звук сворачивает за угол или как волны воды омыают скалу. Было доказано, что изгиб по кругу, упомянутый Ньютоном, действительно имеет место, но что отклоненные волны уничтожают друг друга из-за их взаимной интерференции. Янг также обнаружил фундаментальное различие между волнами света и звуковыми. Если бы вы могли видеть воздух, через который проходят звуковые волны, вы бы наблюдали, как каждая отдельная частица воздуха колеблется взад и вперед, *в направлении распространения*. Если бы вы могли видеть светонесущий эфир, вы бы также обнаружили, что каждая отдельная частица совершает небольшое путешествие взад и вперед; но здесь

движение, подобное тому, которое приписывается упомянутым выше частицам воды, было *былоперек* линии распространения. Колебания воздуха *продольные*, колебания эфира *поперечные*.

Наиболее знакомую иллюстрацию интерференции звуковых волн дают *удары*, производимые двумя музыкальными звуками, слегка не в унисон. Когда два камертона в совершенном унисоне возбуждаются вместе, два звука льются без шероховатостей, как если бы они были одним целым. Но, прикрепляя воском к одной из вилок небольшой грузик, мы заставляем ее вибрировать медленнее, чем соседнюю. Предположим, что одна из них совершает 101 колебание за время, необходимое другой для выполнения 100, и предположим, что при запуске уплотнения и разрежения обеих вилок совпадают. При 101-й вибрации более быстрой вилки они снова совпадут, причем эта вилка в этот момент приобрела одну целую вибрацию или одну целую длину волны по сравнению с другой. Но небольшое размышление прояснит, что при 50-й вибрации две вилки уплотняются, тогда как другая имеет тенденцию производить разрежение; следовательно, благодаря объединенному действию двух вилок звук гаснет, и мы получаем паузу тишины. Это происходит, когда одна вилка набирает *половину длины волны* по сравнению с другой. На 101-й вибрации, как уже говорилось, мы имеем совпадение и, следовательно, усиление звука; на 150-й вибрации мы снова имеем подавление звука. Здесь одна развилка на *три полуволны* опережает другую. В общих чертах, волны объединяются, когда одна серия составляет *четное* число длин полуволн, и они уничтожают друг друга, когда одна серия на *нечетное* число длин полуволн опережает другую. При таком расположении двух вилок мы получаем те прерывистые звуковые удары, разделенные паузами тишины, которым мы даем название биений. Более того, при подходящем расположении можно заставить один звук полностью заглушить другой. Например, колебания двух зубцов камертона вдоль четырех различных линий полностью заглушают друг друга.^[12]

The *Высота* звука полностью определяется скоростью вибрации, так как *интенсивность* зависит от амплитуды. То, что высота звука воспринимается ухом в акустике, цвет воспринимается глазом в волновой теории света. Были определены длины световых волн, которые никогда не были замечены. Их существование доказывается *их эффектами*, и из их эффектов также можно точно вывести их длину. Более того, это может быть сделано многими способами, и при сравнении различных определений обнаруживается, что между ними существует строжайшая гармония. Этот консенсус в отношении доказательств является одним из самых сильных моментов волновой теории. Самые короткие волны видимого спектра - это волны ярко-фиолетового цвета; самые длинные - волны ярко-красного; в то время как остальные цвета имеют промежуточную высоту тона или длину волны. Длина волны ярко-красного цвета такова, что потребовалось бы 39 000 таких волн, расположенных вплотную друг к другу, чтобы покрыть один дюйм, в то время как для покрытия того же расстояния потребовалась бы 64 631 волна ярко-фиолетового цвета.

Итак, скорость света в круглых числах составляет 186 000 миль в секунду. Переведя это в дюймы и умножив найденное таким образом число на 39 000, мы находим, что количество волн экстремально красного цвета на расстоянии 186 000 миль составляет четыреста шестьдесят миллионов миллионов. *Все эти волны попадают в глаз и поражают сетчатку в задней части глаза за одну секунду.* Аналогичным образом можно обнаружить, что количество толчков, соответствующих впечатлению от фиолетового, составляет шестьсот семьдесят восемь миллионов миллионов.

Все пространство заполнено материей, колеблющейся с такой скоростью. От каждой звезды со скоростью света, подобно сферическим оболочкам, во всех направлениях движутся волны этих измерений. И в эфире, точно так же, как в воде, движение каждой частицы является алгебраической суммой всех отдельных движений, сообщаемых ей. Одно движение не заслоняет другое; или, если угасание происходит в одной точке, оно строго компенсируется усиленным движением в какой-то другой точке. Каждая звезда заявляет своим светом о своей неповрежденной индивидуальности, как будто она одна посылала свои волнующие ощущения в космос.

§ 6. Интерференция света.

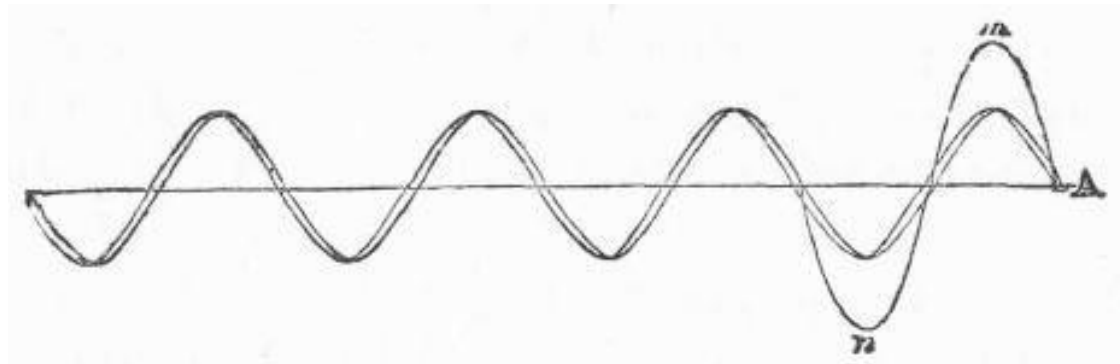


Рис. 11.

Принцип интерференции, как только что было сказано, применим к волнам света так же, как к волнам воды и звуковым волнам. И условия интерференции одинаковы во всех трех случаях. Если две серии световых волн одинаковой длины начинаются в один и тот же момент из общего источника (скажем, А, рис. 11), гребень совпадает с гребнем, пазуха с пазухой, и две системы сливаются в единую систему ($Am\ n,,,$) двойной амплитуды. Если обе серии начинаются в один и тот же момент, причем одна из них в начале опережает другую на целую длину волны, они также складываются вместе, и мы получаем усиленный световой эффект. То же самое происходит, когда одна система волн опережает другую на любое *четное* число полуволн. Но если одна система имеет длину в половину волны (как в "а", рис. 12), или любое *нечетное* количество длин половин волн, заранее, тогда гребни одной падают на синусы другой; фактически, одна система стремится *поднимать* частицы эфира именно в тех местах, где другая стремится *давить* на них; следовательно, благодаря совместному действию этих противоположных сил (обозначенных стрелками) световой эфир остается совершенно неподвижным. Эта неподвижность эфира - то, что мы называем тьмой, что соответствует мертвому уровню в случае воды.

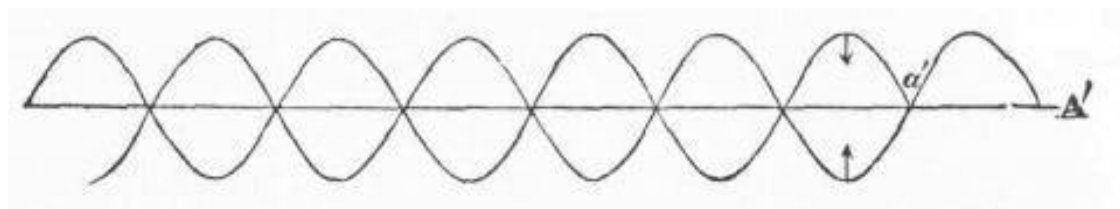


Рис. 12.

В нашей первой лекции по поводу цветов, образующихся в результате поглощения, было сказано, что функция природных тел избирательна, а не созидательна; что они гасят определенные составляющие белого солнечного света и проявляются в цветах неугасающего света. Вам должно сразу прийти в голову, что, поскольку мы имеем при вмешательстве фактор, с

помощью которого свет может самоуничтожаться, мы можем иметь в нем условия для возникновения цвета. Но это означало бы, что определенные составляющие подавляются вмешательством, в то время как другим разрешается оставаться. Это факт; и он полностью обусловлен разницей в длинах световых волн.

§ 7. Цвета тонких пленок. Наблюдения Бойля и Гука.

Этот предмет может быть проиллюстрирован явлениями, которые впервые навели Гука на мысль о волновой теории. Это цвета тонких прозрачных пленок всех видов, известные как *цвета тонких пластин*. В этом отношении ни один объект в мире не представляет более глубокого научного интереса, чем обычный мыльный пузырь. И здесь, позвольте мне сказать, возникает одна из трудностей, с которыми сталкивается изучающий чистую науку в присутствии "практических" сообществ, подобных сообществам Америки и Англии; не следует ожидать, что такие сообщества могут испытывать сколько-нибудь глубокое сочувствие к трудам, которые кажутся настолько далекими от области практики, какими являются многие из трудов человека науки. Представьте, что доктор Дрейпер целыми днями пускает мыльные пузыри и изучает их цвета! Проявили бы вы к нему необходимое терпение или оказали бы необходимую поддержку? И все же следует помнить, что именно этим были заняты умы, подобные умам Бойля, Ньютона и Гука; и что на таких экспериментах была основана теория, результаты которой неисчислимы. Я не вижу для вас, непрофессионалов, другого выхода, кроме как довериться ученому человеку выбору его исследований; он предстает перед судом своих коллег, и с их вердиктом о его трудах вы должны смириться.

Откуда же тогда берутся цвета мыльного пузыря? Представьте себе луч белого света, падающий на пузырь. Когда он достигает первой поверхности пленки, известная часть света отражается обратно. Но большая часть луча входит в пленку, достигает ее второй поверхности и снова частично отражается. Таким образом, волны от второй поверхности поворачивают назад и горячо преследуют волны от первой поверхности. И, если толщина пленки такова, что вызывает необходимое замедление, две системы волн интерферируют друг с другом, производя усиленный или уменьшенный свет, в зависимости от обстоятельств.

Но, поскольку световые волны имеют разную длину, очевидно, что для достижения затухания в случае более длинных волн необходима пленка большей толщины, чем в случае более коротких. Следовательно, при разной толщине пленки должны проявляться разные цвета.

Возьмите с собой маленькую бутылочку скипидарного спирта и вылейте его в один из ваших загородных прудов. Затем вы увидите свечение этих цветов на поверхности воды. В небольших масштабах мы производим их следующим образом: обычный чайный поднос наполняется водой, под поверхность которой опускается кончик пипетки. Луч света падает на воду и отражается от нее на экране. В пипетку наливают скипидарный спирт; он опускается, выходит с конца мельчайшими каплями, которые последовательно поднимаются на поверхность. Достигнув его, каждая капля внезапно растекается в виде пленки, и на экране немедленно вспыхивают яркие цвета. Цвета меняются по мере изменения толщины пленки при испарении. Они также расположены зонами, вследствие постепенного уменьшения толщины от центра наружу.

Любая пленка, какая бы она ни была, будет воспроизводить эти цвета. Воздушная пленка между двумя стеклянными пластинами, сжатыми вместе, демонстрирует, как показал Гук, насыщенные

цветные полосы. Особенно прекрасный пример этих полос сейчас перед вами. Не нужен даже воздух; достаточно разрыва оптической непрерывности. Разруби топором черный, прозрачный лед - черный, потому что он чистый и большой глубины, — под мореной ледника; ты легко создаешь во внутренней части трещины, до которых не может добраться воздух, и из этих трещин цвета тонких пластин иногда вспыхивают, как огонь. Но источником наибольшего исторического интереса, как уже говорилось, является мыльный пузырь. С помощью одной из смесей, использованных выдающимся слепым философом Плато в его исследованиях показателей сцепления тонких пленок, мы получаем в неподвижном воздухе пузырь диаметром десять или двенадцать дюймов. Вы можете посмотреть на сам пузырь или на его проекцию на экране; в обоих случаях демонстрируются насыщенные цвета, распределенные по зонам. Делая луч параллельным и позволяя ему падать на боковые, нижние и верхние части пузырька, великолепные веера цвета, отраженные от пузырька, покрывают экран, вращаясь по мере того, как луч перемещается по кругу. С помощью этого эксперимента также поразительно отображаются внутренние движения пленки.

Великие теории разрабатываются не в одно мгновение: сначала становятся очевидными факты, которые их требуют; затем за периодом наблюдения следует период размышлений и предварительных объяснений. Такими усилиями человеческий разум постепенно подготавливается к окончательному теоретическому освещению. Цвета тонких пластинок, например, привлекали внимание Роберта Бойля. В своей "Экспериментальной истории цветов" он выступает против школ, которые утверждали, что цвет - это "проникающее качество, достигающее самых сокровенных частей объекта", приводя противоположные факты. "Чтобы привести вам первый пример, — говорит он, — мне нужно лишь напомнить вам о том, что я говорил вам немного позже начала этого эссе, касаясь синего, красного и желтого, которые могут быть нанесены на кусок закаленной стали; эти цвета, хотя и очень яркие, все же, если вы сломаете сталь, которую они украшают, они покажутся вам поверхностными". Затем он описывает фразеологией, которая показывает, какое удовольствие он получал от своей работы, следующий прекрасный эксперимент:

'Мы взяли количества чистого свинца, и расплавила его сильным огне, а затем сразу же вылить это в чистый сосуд удобной формы и материи (мы воспользовались одним из железа, что Великая и внезапного жараможет не травмировать ее), а затем тщательно и проворно снимая накипь, что плавало сверху, мы увидели, как мы и ожидали, гладкой и глянцевой поверхности расплавленного дело будет украшен очень славный цвет, который, бытие как преходящее, как восхитительные, так почти сразу же дать место другой яркий цвет, и это было так быстро удалось на треть, и это, как бы, прогнали по четвертый, и так этими чудесно яркими цветами последовательно появлялись и исчезали, пока металл перестанет быть горячим настолько, чтобы проводить больше это радовало это зрелище, цвета, которые случайно украшают поверхность, когда таким образом стала остывать остался на нем, но были так поверхностны, что, как ни мало мы соскребли с поверхности свинца, мы же, в таких местах, соскребите все цвета.' 'Это', - добавляет он, - предложил мне какие-то мысли или бред что у меня сейчас нет времени, чтобы познакомить вас с.' [13]

Он распространяет свои наблюдения на эфирные масла и винные спирты, "которые при встряхивании до образования большого количества пузырьков, эти пузырьки (при внимательном рассмотрении) будут казаться окрашенными в различные и красивые цвета, которые немедленно исчезают при обратном охлаждении жидкости, благодаря которой эти

пузырьки превращаются в оболочку остального масла". Он также ссылается на цвет стеклянных пленок. "Я видел человека, который был искусен в изготовлении стекол с помощью лампы, раздувающей некоторые из них с такой силой, что они лопались; после чего было обнаружено, что прочность металла была такова, что, прежде чем он сломался, он превратился в пленки, настолько чрезвычайно тонкие, что на их поверхности постоянно проявлялись различные цвета радуги".[14]

После Бойля цвета тонких пластинок привлекли внимание Роберта Гука, в трудах которого мы находим зарождение волновой теории света. Он с большой отчетливостью описывает цвета, полученные с помощью тонких чешуек "мускатного стекла" (талька), а также окружающие дефекты в кристаллах, где нарушается оптическая непрерывность. Он очень четко показывает зависимость цвета от толщины пленки и с помощью микроскопических наблюдений доказывает, что пластины одинаковой толщины дают однородные цвета. "Если, - говорит он, - вы возьмете любой маленький кусочек мускатного стекла и иглой или каким-либо другим удобным инструментом будете часто раскалывать его на все более тонкие пластинки, вы обнаружите, что до тех пор, пока не достигнете определенной толщины, они будут казаться прозрачными и бесцветными; но если вы будете продолжать раскалывать и дробить их дальше, вы, наконец, обнаружите, что каждая пластинка будет казаться очень красивой, окрашенной или пропитанной определенным цветом. Если, кроме того, каким—либо образом вы так деформируете довольно толстый кусок, что одна часть начинает немного отделяться от другой, и между этими двумя образуется прозрачная среда, то на слоистых или прозрачных телах, заполняющих это пространство, должно появиться несколько радуг или цветных линий, цвета которых будут расположены и варьироваться в зависимости от различной толщины нескольких частей пластины ". Затем он полностью и ясно описывает эксперимент с прессованными стеклами, о котором уже говорилось: "

Возьмите два маленьких кусочка отшлифованной зеркальной пластинки, каждый величиной примерно с шиллинг: высушите их и указательными и большими пальцами очень сильно прижмите их друг к другу, и вы увидите, что когда они приблизятся друг к другу совсем близко, появятся несколько радужных оболочек или цветных линий, почти таким же образом, как на московском бокале; и вы можете очень легко изменить любой цвет любой части вставленного тела, прижимая пластинки ближе и сильнее друг к другу или оставляя их более мягкими - то есть часть радужки или цветных линий будет видна на поверхности стекла. который казался окрашенным в красный цвет, в настоящее время может быть окрашен в желтый, синий, зеленый, фиолетовый или тому подобное. "Любое вещество, - говорит он, - при условии, что оно тонкое и прозрачное, проявит эти цвета". Подобно Бойлю, он получал их с помощью стеклянных пленок; он также получал их с пузырьками смолы, канифоли, канифольной смолы, скипидара, растворами нескольких камедей, таких как гуммиарабик в воде, любым клейким напитком, таким как сусло, вино, винный спирт, скипидарное масло, блеск улиток и т.д.

Труды Гука показывают, что даже в его время идея о том, что и свет, и тепло являются способами движения, овладели многими умами. "Во-первых, - говорит он, - то, что все виды *пылающих тел* имеют свои части в движении, я думаю, будет легко предоставлено мне. То, что искра, выбитая из кремня и стали, находится в быстром возбуждении, я в другом месте сделал вероятным ;... то, что тепло свидетельствует о движении внутренних частей, (как я уже говорил ранее) обычно принимается; ... и что во всех чрезвычайно горячих сияющих телах существует очень быстрое движение, вызывающее свет, а также более сильное, вызывающее тепло, можно утверждать из

быстроты, с которой тела растворяются. Далее, это должно быть *вибрационное движение*". Его ссылка на быстрое движение света и более сильное движение тепла является замечательным проявлением проницательности; но прямое понимание Гука лучше, чем его рассуждения; ибо приводимые им доказательства того, что свет является "вибрирующим движением", не имеют особого отношения к вопросу.

Тем не менее Волновая теория, несомненно, пришла в голову этому замечательному человеку. Пытаясь объяснить цвета тонких пластинок, он снова обращается к соотношению цвета к толщине: он останавливается на том факте, что пленка, на которой видны эти цвета, должна быть прозрачной, доказывая это тем, что каким бы тонким ни было непрозрачное тело, цвета не получаются. "Это, - говорит он, - я часто пробовал, вдавливая маленький шарик ртути между двумя гладкими стеклянными пластинами, в результате чего я уменьшил толщину этого тела до гораздо большей, чем требовалось для отображения цветов с помощью прозрачного тела". Затем следует мудрое замечание о том, что для получения цветов "должно быть значительное отражающее тело, прилегающее к нижней или дальней стороне пластинки: для этого я всегда обнаруживал, что чем больше было отражение, тем ярче были появляющиеся цвета". Из этого наблюдения, - продолжает он, - наиболее очевидно, что *отражение от дальней или нижней стороны тела является основной причиной возникновения этих цветов.*'

Он рисует диаграмму, правильно представляющую отражение на двух поверхностях пленки; но на этом его четкость заканчивается. Он приписывает цвета слиянию или смешению двух отражающих импульсов; принцип интерференции был ему неизвестен, и он не смог продвинуться дальше в объяснении.

§ 8. Кольца Ньютона. Зависимость цвета от толщины пленки.

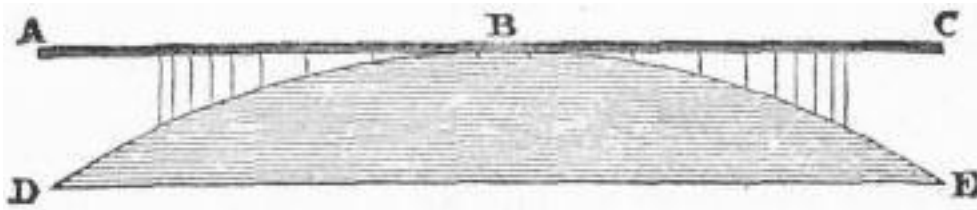


Рис. 13

Таким образом, благодаря активной работе различных умов факты наблюдаются, исследуются и определяются точные условия их появления. Любая подобная работа в науке является прелюдией к другой работе; и усилия Бойля и Гука расчистили путь для оптической карьеры Ньютона. Он преодолел трудность, которую Гук считал непреодолимой, и путем точных измерений определил отношение толщины пленки к цвету, который она отображает. При этом его первой заботой было получить пленку переменной и рассчитываемой глубины. На плоско-выпуклой стеклянной линзе (D E, рис. 13) очень слабой кривизны он положил стеклянную пластину (A C) с плоской поверхностью, получив таким образом воздушную пленку постепенно увеличивающейся глубины от точки соприкосновения (B) наружу. Посмотрев на пленку в монохроматическом свете, он увидел, с восторгом, сопутствующим совершенному предвидению, окружающую место контакта серию ярких колец, отделенных друг от друга темными кольцами, которые становились все более плотно прижатыми друг к другу по мере увеличения расстояния от точки контакта (как на рис. 14). Когда он использовал красный свет, его кольца имели определенный диаметр; когда он использовал синий свет, диаметры были меньше. В общих чертах, чем более преломляющим был свет, тем меньше были кольца.

Заставляя его очки проходить через спектр от красного к синему, кольца постепенно сужались; когда переход был от синего к красному, кольца расширялись. Это прекрасный эксперимент, и, по-видимому, он доставил Ньютону самое живое удовлетворение. Когда на стекла падал белый свет, поскольку цвета не накладывались друг на друга, получалась серия *кругов* цвета радужной оболочки глаза. Перед вами увеличенное изображение *колец* Ньютона, и, используя последовательно красный, синий и белый свет, мы получаем все эффекты, наблюдаемые Ньютоном. Вы замечаете, что при монохроматическом освещении кольца сближаются по мере удаления от центра. Это связано с тем, что на расстоянии воздушная пленка уплотняется быстрее, чем вблизи центра. Когда используется белый свет, это смыкание колец приводит к наложению различных цветов друг на друга, так что после определенной толщины они смешиваются вместе в белый свет, после чего кольца полностью исчезают. Достаточно лишь немного поразмыслить, чтобы понять, что цвета тонких пластинок, создаваемые белым светом, никогда не бывают несмешанными или монохромными.

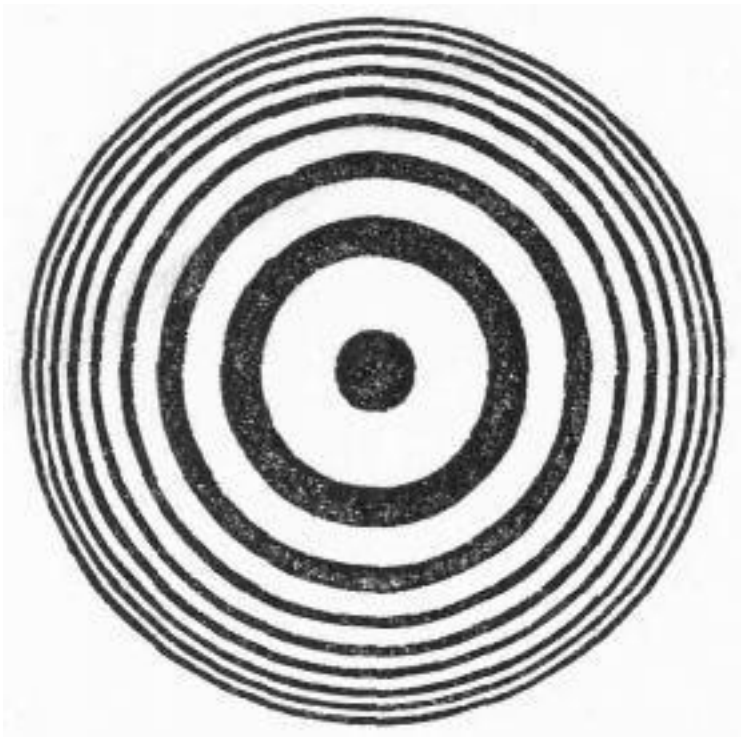


Рис. 14

Ньютон сравнил полученные таким образом оттенки с оттенками своего мыльного пузыря и вычислил соответствующую толщину. Как он это сделал, вам может быть ясно следующим образом: предположим, что вода океана абсолютно гладкая; тогда она точно представляла бы искривленную поверхность земли. Пусть идеально горизонтальная плоскость касается поверхности в любой точке. Зная диаметр земли, любой инженер или математик в этой комнате мог бы сказать вам, как далеко поверхность моря будет находиться ниже этой плоскости, на расстоянии ярда, десяти ярдов, ста ярдов или тысячи ярдов от точки соприкосновения плоскости с морем. Действительно, при операциях выравнивания обычно учитывается кривизна земли. Расчет Ньютона был точно таким же. Его плоское стекло касалось его изогнутого стекла. По показателю преломления и фокусному расстоянию он определил диаметр сферы, сегмент которой составляло его изогнутое стекло, он измерил расстояния своих колец от места соприкосновения и вычислил глубину между касательной плоскостью и изогнутой поверхностью, точно так же, как инженер вычислил бы расстояние между своей касательной

плоскостью и поверхностью моря. Удивительно, что там, где речь идет о таких бесконечно малых расстояниях, Ньютон, имея в своем распоряжении средства, мог работать с такой поразительной точностью.

Объяснить эти кольца было величайшей оптической трудностью, с которой когда-либо сталкивался Ньютон. Он вполне понимал эту трудность. Над его орлиным взором не было никакой пленки - никакой расплывчатости в его представлениях. С самого начала его теория столкнулась с вопросом: почему, когда луч света падает на прозрачное тело, некоторые частицы света отражаются, а некоторые проходят? Дело в том, что существуют два вида частиц: одни специально приспособлены для прохождения, а другие - для отражения? Это не может быть причиной; ибо, если мы позволим лучу света, отразившемуся от одного куска стекла, упасть на другой, он, как правило, также разделяется на отраженную и прошедшую части. Частицы, однажды отраженные, не всегда отражаются, и частицы, однажды переданные, не всегда передаются. Ньютон видел все это; он знал, что должен объяснить, почему одна и та же частица в один момент отражается, а в следующий момент передается. Это могло произойти только через *некоторое изменение состояния самой частицы*. Он утверждал, что на ту же самую частицу влияли "приступы" легкой передачи и отражения.

§ 9. Теория "подгонки" применительно к кольцам Ньютона.

Если вы готовы последовать за мной в попытке раскрыть умозрительную основу этой теории припадков, интеллектуальная дисциплина, я думаю, вознаградит вас за необходимое усилие внимания. Ньютон был осторожен в формулировании того, что он считал причиной припадков, но вряд ли можно сомневаться в том, что его разум опирался на физическую причину. Не может быть сомнений и в том, что здесь, как и во всех попытках теоретизировать, он был вынужден прибегнуть к опыту в поисках материалов для своей теории. Давайте попытаемся восстановить ход его мыслей и наблюдений. Магнит дал бы ему представление о притягиваемых и отталкиваемых полюсах; и тот, кто обычно видит в видимом образ невидимого, естественным образом наделил бы свои световые частицы такими полюсами. Поворачивая свои притягиваемые полюса к прозрачному веществу, частицы всасывались бы внутрь и передавались; поворачивая свои отталкиваемые полюса, они отгонялись бы или отражались. Таким образом, приписыванием полюсов можно объяснить прохождение и отражение одной и той же частицы в разное время.

Рассмотрим эти кольца Ньютона, видимые в чистом красном свете: они попеременно яркие и темные. Воздушная пленка, соответствующая самому внешнему из них, не толще обычного мыльного пузыря и становится тоньше по мере приближения к центру; тем не менее Ньютон, как я уже говорил, измерил толщину, соответствующую каждому кольцу, и показал разницу в толщине между кольцами. Теперь отметьте результат. Для удобства назовем толщину воздушной пленки, соответствующей первому темному кольцу d ; затем Ньютон нашел расстояние, соответствующее второму темному кольцу $2d$; толщину, соответствующую третьему темному кольцу $3d$; толщину, соответствующую десятому темному кольцу $10d$, и так далее. Наверняка должен быть какой-то скрытый смысл в этой маленькой дистанции, d , которая появляется так постоянно? Можно представить, с каким пристальным интересом Ньютон размышлял над его значением. Понаблюдайте за вероятным результатом его размышлений. Он наделил свои световые частицы полюсами, но теперь он вынужден ввести понятие *периодического повторения*. Здесь его способность переходить от чувственного к

субчувственному позволила бы ему легко предположить, что световые частицы одушевлены не только движением перемещения, но и движением вращения. Астрономические знания Ньютона сделали все подобные концепции знакомыми для него. Земля имеет такое двойное движение. За время, затрачиваемое на прохождение более полутора миллионов миль своей орбиты, то есть за двадцать четыре часа, наша планета совершает полный оборот; а за время, необходимое для прохождения расстояния d , можно предположить, что частица света Ньютона совершает полный оборот. Правда, частица света меньше планеты, и расстояние d , вместо того чтобы составлять полтора миллиона миль, составляет немногим более девяностотысячной доли дюйма. Но с точки зрения интеллектуального качества эти две концепции идентичны.

Тогда представьте, что частица входит в воздушную пленку, где она имеет точно такую толщину. Чтобы войти в пленку, ее притянутый конец должен быть представлен. Внутри пленки он способен *один раз* полностью повернуться; на другой стороне пленки его притянутый полюс снова будет представлен; следовательно, он войдет в стекло с противоположной стороны пленки *и исчезнет из поля зрения*. Повсюду вокруг места контакта, везде, где пленка обладает именно такой толщиной, свет будет одинаково исчезать — таким образом, мы получим кольцо темноты.

А теперь обратите внимание, насколько хорошо эта концепция согласуется с законом пропорциональности, открытым Ньютоном. При толщине пленки $2d$ у частицы есть время совершить *два* полных оборота внутри пленки; при толщине $3d$ — *три* полных оборота; при $10d$ — *выполняется десять* полных оборотов. Очевидно, что в каждом из этих случаев при достижении второй поверхности пленки будет представлен притягиваемый полюс частицы. Следовательно, оно будет передаваться; и поскольку свет не попадает в глаз, у нас будет кольцо тьмы в каждом из этих мест.

Светлые кольца непосредственно вытекают из той же концепции. Они расположены между темными кольцами, толщина, которой они соответствуют, также промежуточна между толщиной темных колец. Возьмем случай с первым ярким кольцом. Толщина пленки составляет $\frac{1}{2}d$; за этот промежуток времени вращающаяся частица может совершить только половину оборота. Таким образом, когда он достигает второй поверхности пленки, появляется его отталкивающий полюс; таким образом, он отталкивается назад и достигает глаза. На всех расстояниях вокруг центра, соответствующих этой толщине, создается один и тот же эффект, следствием которого является кольцо яркости. Аналогичным образом учитываются другие яркие кольца. На втором, где толщина составляет $1\frac{1}{2}d$, выполняется полтора оборота; на третьем — два с половиной оборота; и в каждом из этих мест частицы представляют свои отталкивающие полюса к нижней поверхности пленки. Поэтому они направляются обратно в глаз и создают там впечатление яркости. Этот анализ, хотя и сопряженный с трудностями при ближайшем рассмотрении, позволяет нам увидеть, как теория припадков могла вырасти в логику в сознании Ньютона.

Уже говорилось, что Теория излучения приписывала свету большую скорость в стекле и воде, чем в воздухе или звездном пространстве; и что в этом пункте это противоречило теории волнообразности, которая делает скорость в воздухе или звездном пространстве большей, чем в стекле или воде. В результате эксперимента, предложенного Араго и выполненного с непревзойденным мастерством Фуко и Физо, этот вопрос подвергся критической проверке и был решен в пользу теории волнообразных колебаний.

В данном случае также эти две теории расходятся. Ньютон предположил, что действие, которое производит чередующиеся яркие и темные кольца, происходило на *единственной поверхности*, то есть на второй поверхности пленки. Волновая теория утверждает, что кольца возникают в результате интерференции волн, отраженных от обеих поверхностей. Это также было продемонстрировано экспериментом. При правильном расположении, как мы узнаем позже, мы можем устранить отражение от одной из поверхностей пленки, и когда это будет сделано, кольца полностью исчезнут.

Кольца слабой интенсивности также образуются за счет *проходящего* света. Волновая теория относит их к интерференции волн, которые прошли *непосредственно* через пленку, с другими волнами, которые претерпели *два* отражения внутри пленки и, таким образом, полностью учтены.

§ 10. Дифракция света.

Говорят, что поддержка Ньютоном эмиссионной теории задержала научные открытия. Однако может возникнуть вопрос, не приводят ли в конечном счете ошибки великих людей к тому, что интеллектуальный прогресс становится ритмичным, вместо того чтобы позволять ему оставаться равномерным, причем "задержка" в каждом случае является прелюдией к более стремительному продвижению. Именно путаницы и застоя, а не ошибок мы должны избегать. Таким образом, хотя волновая теория на некоторое время была отложена, за это время она набрала силу, и ее развитие в течение последних полувека было настолько быстрым и триумфальным, что не оставило конкурентов в этой области. Теперь мы должны обратиться к исследованию новых классов явлений, удовлетворительное объяснение которым может дать только она одна.

Ньютон, который был знаком с идеей эфира и который ввел ее в некоторые из своих рассуждений, возразил, как уже говорилось, что если бы свет состоял из волн, тени не могли бы существовать; в этом случае волны огибали бы края непрозрачных тел и возбуждали эфир за ними. Он был прав, утверждая, что этот изгиб должен произойти, но ошибался, предполагая, что этого не происходит. Изгиб реален, хотя во всех обычных случаях он маскируется действием помех. Это отклонение света получило название *Дифракции*.

Для изучения явления дифракции необходимо, чтобы нашим источником света была физическая точка или тонкая линия; поскольку при использовании светящейся поверхности волны, исходящие из разных точек поверхности, затевают и нейтрализуют друг друга. *Точка* света высокой интенсивности получается путем пропускания параллельных солнечных лучей через отверстие в оконном ставне и концентрации луча с помощью короткофокусной линзы. Маленькое изображение солнца в фокусе представляет собой подходящую световую точку. Изображение солнца, сформированное на выпуклой поверхности стеклянной бусины или часового стекла с потемнением внутри, хотя и менее интенсивное, также подойдет. Интенсивная *линия* света получается при пропускании солнечного света через щель и пропускании его через сильную цилиндрическую линзу. Срез света сужается до физической линии в фокусе объектива. Стеклопая трубка, зачерненная изнутри и помещенная на свет, отражает от своей поверхности светящуюся линию, которая, хотя и менее интенсивна, также соответствует назначению.

В описываемом эксперименте перед электрической лампой помещают вертикальную щель переменной ширины, и на эту щель смотрят издали через другую вертикальную щель, также с переменным отверстием, и держат в руке.

Свет лампы, во-первых, становится монохромным за счет помещения перед щелью стекла чистого красного цвета, когда глаз находится на прямой линии, проведенной через обе щели, что придает необычный вид (показано на рис. 15) соблюдается. Во-первых, щель перед лампой видна как яркий прямоугольник света; но справа и слева от нее - длинный ряд прямоугольников, яркость которых уменьшается и которые отделены друг от друга промежутками абсолютной темноты.

Видно, что ширина этих полос меняется в зависимости от ширины щели, которую держат перед глазом. Когда щель расширяется, полосы становятся уже и теснятся реже; когда щель сужается, отдельные полосы расширяются и также отходят друг от друга, оставляя между ними более широкие темные пространства, чем раньше.

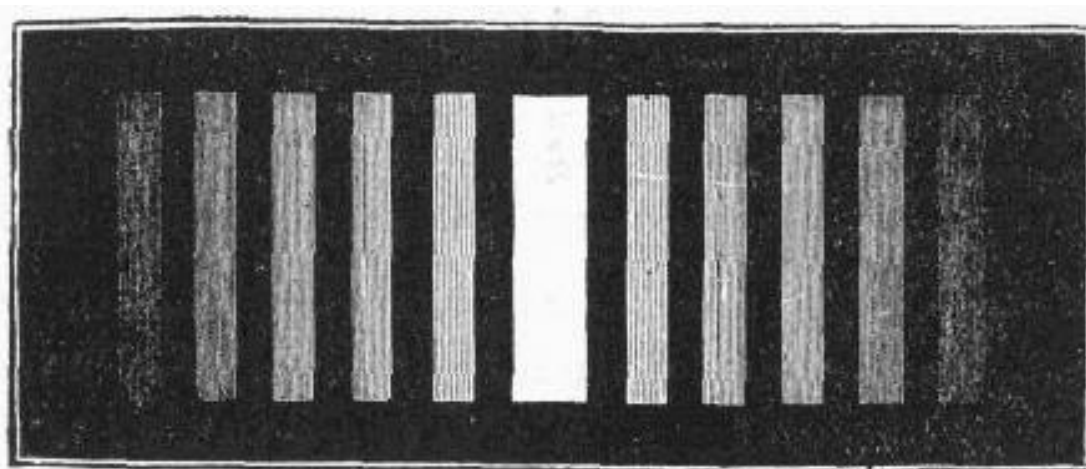


Рис. 15.

Оставив все остальное без изменений, пусть на пути света будет синий стакан или раствор аммиачно-сульфатной меди, который дает очень чистый синий цвет. Таким образом, получается серия синих полос, точно такая же, как первая, во всех отношениях, кроме одной; синие прямоугольники уже и расположены *ближе друг к другу*, чем красные.

Если мы используем цвета с промежуточной преломляемостью, что мы можем сделать, заставляя различные цвета спектра просвечивать через щель, мы получаем полосы промежуточного по ширине цвета, занимающие промежуточное положение между полосами красного и синего. Вид полос в красном, зеленом и фиолетовом свете представлен на рис. 16. Следовательно, когда *белый свет* проходит через щель, различные цвета не накладываются друг на друга, и вместо серии монохроматических полос, отделенных друг от друга промежутками темноты, мы имеем серию цветных спектров, расположенных рядом. Когда удаленная щель освещается пламенем свечи вместо более интенсивного электрического света или когда используется удаленная платиновая проволока, раскаленная до белого каления электрическим током, наблюдаются по существу те же эффекты.

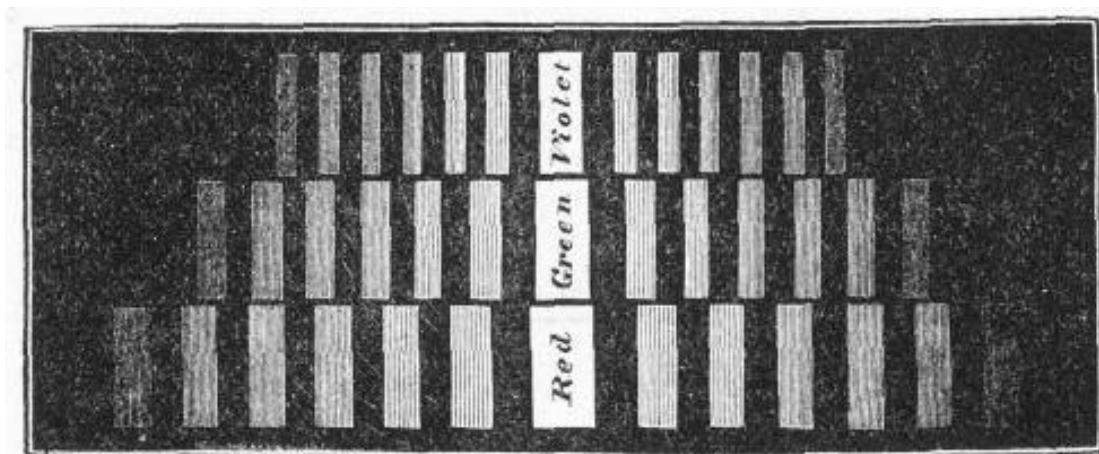


Рис. 16.

§ 11. Применение волновой теории к явлениям дифракции.

Этим и множеству подобных эффектов теория излучения неспособна предложить сколько-нибудь удовлетворительное объяснение. Давайте посмотрим, как они объясняются Теорией волновых колебаний.

И здесь, с целью достижения абсолютной ясности, я должен обратиться к той способности, важность которой я так серьезно подчеркивал здесь и в других местах, — к способности воображения. Представьте себя на берегу моря, на котором надвигается хорошо сформированная волна. Возьмем линию частиц вдоль фронтовой волны, все на одинаковом расстоянии ниже гребня; все они поднимаются одинаковым образом и с одинаковой скоростью. Возьмем аналогичную линию частиц на обратной стороне волны, все они падают одинаковым образом и с одинаковой скоростью. Возьмем линию частиц вдоль гребня, все они находятся в одинаковом состоянии относительно движения волны. То же самое верно для линии частиц вдоль борозды волны.

Частицы, упомянутые соответственно в каждом из этих случаев, находясь в одном и том же состоянии с точки зрения движения волны, называются находящимися в одной и той же *фазе* колебаний. Но если вы сравните частицу, находящуюся впереди волны, с частицей, находящейся сзади; или, в более общем смысле, если вы сравните вместе любые две частицы, не занимающие одинакового положения в волне, поскольку условия их движения неодинаковы, то будет сказано, что они находятся в разных фазах вибрации. Если одна из частиц лежит на гребне, а другая - на борозде волны, то, поскольку одна вот-вот поднимется, а другая вот-вот упадет, говорят, что они находятся в *противоположных* фазах вибрации.

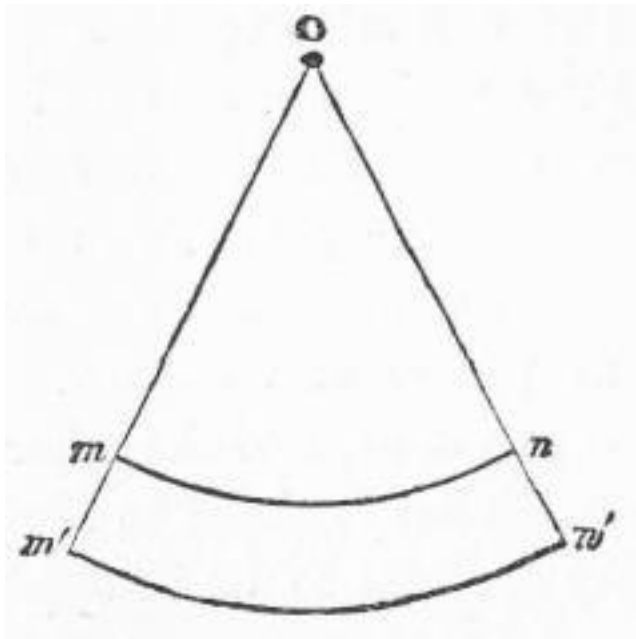


Рис. 17.

Есть еще один момент, который необходимо прояснить, и он имеет первостепенное значение в отношении нашей нынешней темы. Пусть O (рис. 17) - точка в спокойной воде, которая при возмущении создает серию круговых волн: возмущение, необходимое для возникновения этих волн, представляет собой просто колебание воды вверх и вниз в точке O . Пусть m, n - положение гребня одной из волн в любой момент, а m', n' - ее положение секунду или две спустя. Теперь каждая частица воды, когда по ней проходит волна, колеблется, как мы уже узнали, вверх и вниз. Если, таким образом, это колебание является достаточным источником волнового движения, то каждая отдельная частица волны m, n должна порождать серию круговых волн. Это важный момент, к которому я хочу подвести вас. Каждая частица волны m, n действительно действует таким образом. Принимая каждую частицу за центр и окружая ее круговой волной с радиусом, равным расстоянию между m, n и m', n' , объединение всех этих маленьких волн привело бы к образованию большого гребня m', n' точно так, как мы находим в природе. Здесь, по сути, мы разделяем волновое движение на его элементы, и, преуспев в этом, у нас не будет больших трудностей с применением наших знаний к оптическим явлениям.

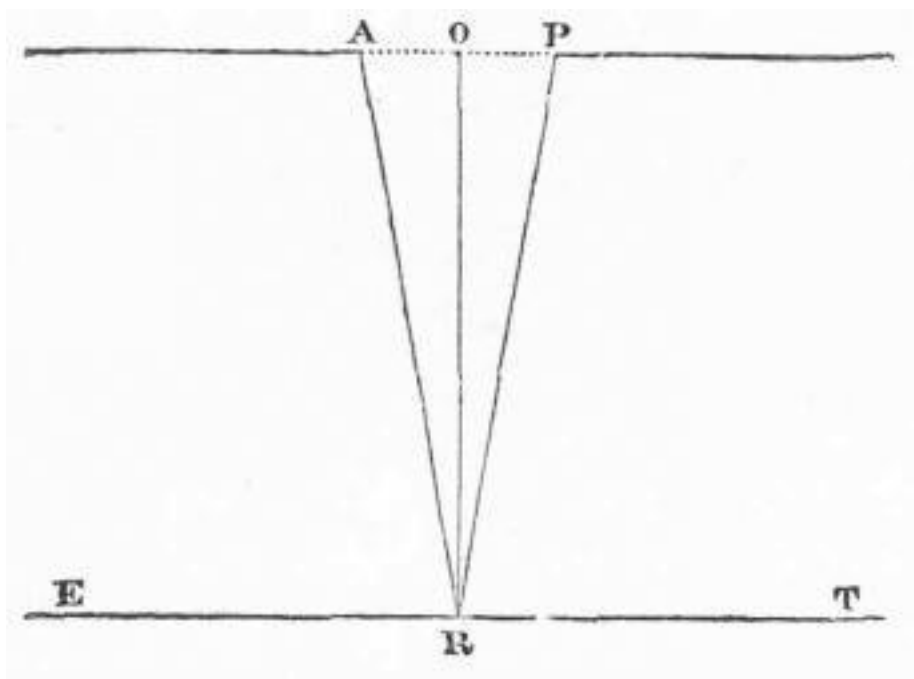


Рис. 18.

Теперь давайте вернемся к нашей щели и, для простоты, сначала рассмотрим случай монохроматического света. Представьте себе серию волн эфира, идущих от первой щели ко второй и, наконец, заполняющих вторую щель. Когда каждая волна проходит через последнюю, она не только следует своим прямым курсом к сетчатке, но и отклоняется вправо и влево, стремясь привести в движение всю массу эфира за щелью. Фактически, как уже объяснялось, *каждая точка волны, заполняющей щель, сама по себе является центром новой волновой системы, которая передается во всех направлениях через эфир за щелью*. Это знаменитый принцип Гюйгенса: теперь мы должны исследовать, как эти вторичные волны воздействуют друг на друга.

Давайте сначала рассмотрим центральную полосу серии. Пусть AP (рис. 18) - ширина отверстия, находящегося перед глазом, конечно, сильно преувеличенная, и пусть точки поперек отверстия представляют частицы эфира, все в одной фазе вибрации. Пусть Et представляет часть сетчатки. От O, в центре щели, пусть будет воображен перпендикуляр Or, проведенный по сетчатке. Движение, сообщаемое точке R, будет тогда суммой всех движений, исходящих в этом направлении от частиц эфира в щели. Принимая во внимание крайнюю узость апертуры, мы можем без существенной ошибки рассматривать все точки волны Ap как одинаково удаленные от R. Ни одна из парциальных волн не отстает ощутимо от других: следовательно, в точке R и в ее непосредственной близости мы не наблюдаем ощутимого уменьшения света из-за интерференции. Этот неизменяемый свет создает яркую центральную полосу серии.

Теперь рассмотрим те волны, которые расходятся вбок за второй щелью. В этом случае волны с двух сторон щели должны, чтобы сойтись на сетчатке, проходить на неодинаковые расстояния. Пусть A P (рис. 19) представляет, как и раньше, ширину второй щели. Теперь мы должны рассмотреть воздействие различных частей волны Ap на точку R' сетчатки, не расположенную на линии, соединяющей две щели.

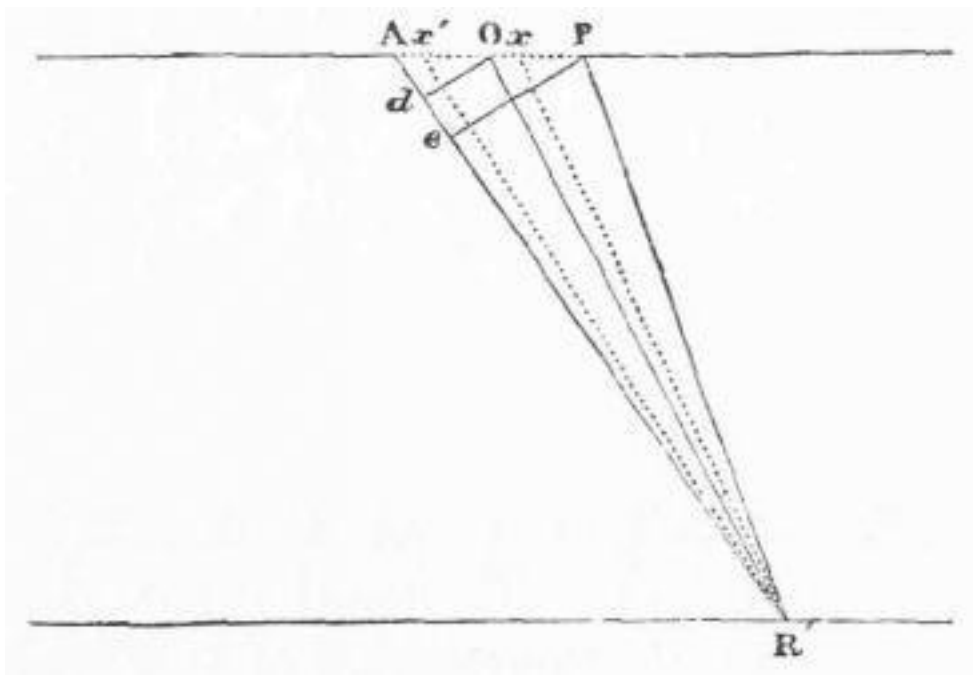


Рис. 19.

Давайте рассмотрим частный случай, в котором разница в пути от двух граничных точек А, Р до сетчатки составляет целую длину волны красного света; как эта разница должна повлиять на конечное освещение сетчатки?

Давайте сосредоточим наше внимание на конкретной косой линии, которая проходит через *центр* О щели к сетчатке в точке R'. Разница в пути между волнами, проходящими вдоль этой линии, и волнами, исходящими от двух краев, составляет, как предполагается в данном случае, половину длины волны. Сделайте $e R'$ равным $P R'$, соедините Р и е и проведите $O d$ параллельно Р е. Тогда $A e$ - это длина световой волны, а $A d$ - половина длины волны. Теперь при малейшем размышлении становится ясно, что существует не только диссонанс между центральной и краевой волнами, но и что каждая линия волн, такая как $x R'$, с одной стороны от $O r'$, находит линию $x' R'$ с другой стороны от $O r'$, от которой ее путь отличается на половину волны — с которой, следовательно, она находится в полном диссонансе. Следствием этого является то, что свет по одну сторону центральной линии полностью уничтожит свет по другую сторону этой линии, и результатом их слияния станет абсолютная темнота. Таким образом, учитывается первый темный интервал в нашей серии полос. Это вызвано наклоном направления, из-за которого траектории краевых волн на *целую длину волны* отличаются друг от друга.

Когда разница между траекториями краевых волн составляет *половину длины волны*, происходит частичное разрушение света. Сила света, соответствующая этому наклону, составляет чуть меньше половины - точно 0,4 — силы света без преломления. Если траектории краевых волн представляют собой три полуволны, отличные друг от друга, и если весь луч разделить на три равные части, то две из этих частей по только что приведенным причинам будут полностью нейтрализовывать друг друга, а эффективной будет только третья. Следовательно, в соответствии с наклоном, который создает разницу в три полуволны в краевых волнах, мы имеем светящуюся полосу, но значительно меньшей интенсивности, чем недиффрактированная центральная полоса.

При незначительном различии траекторий в четыре полуволны мы имеем второе затухание всего луча, потому что здесь луч может быть разделен на четыре равные части, каждые две из которых гасят друг друга. Таким образом, второе пространство абсолютной темноты будет соответствовать наклону, создающему это различие. Таким образом, мы могли бы продвинуться дальше, общий результат состоит в том, что всякий раз, когда направление движения волны таково, что приводит к незначительному различию траекторий *четного* числа полуволн, мы имеем полное исчезновение; в то время как, когда предельное различие составляет *нечетное* число полуволн, мы имеем только частичное исчезновение, часть луча остается в виде светящейся полосы.

После недолгого размышления становится ясно, что чем шире щель, тем меньше будет наклон направления, необходимый для создания необходимой разницы траекторий. Таким образом, при широкой щели полосы, как было замечено, будут располагаться ближе друг к другу, чем при узкой. Также очевидно, что чем короче волна, тем меньше будет наклон, необходимый для создания необходимого замедления. Следовательно, максимумы и минимумы фиолетового света должны располагаться ближе к центру, чем максимумы и минимумы красного света. Максимумы и минимумы других цветов находятся между этими крайними значениями. Таким простым способом волновая теория полностью объясняет упомянутое выше необычное явление.

При использовании щели и телескопа вместо щели и невооруженного глаза эффекты усиливаются и становятся более яркими. Более того, если смотреть в правильно настроенный телескоп с небольшой круглой апертурой перед ним на удаленную светящуюся точку, то она видна окруженной серией цветных полос. При использовании монохроматического освещения эти полосы просто яркие и темные, но при белом освещении круги отображают цвета радужной оболочки. Если щель укоротить так, чтобы образовалась квадратная апертура, мы получим две серии спектров, расположенных под прямым углом друг к другу. Эффекты, действительно, способны к бесконечным вариациям за счет изменения размера, формы и количества отверстий, через которые наблюдается световая точка. Через два квадратных отверстия, углами соприкасающихся друг с другом, как на А, Шверд наблюдал внешний вид, показанный на рис. 20. Добавив к ним еще два, как на В, он наблюдал внешний вид, представленный на рис. 21. Положение каждой полосы света и тени на таких фигурах было теоретически рассчитано Френелем, Фраунгофером, Гершелем, Швердом и другими и полностью проверено экспериментом. Ваши глаза не могли бы сказать вам с большей уверенностью о существовании этих полос, чем теоретический расчет.

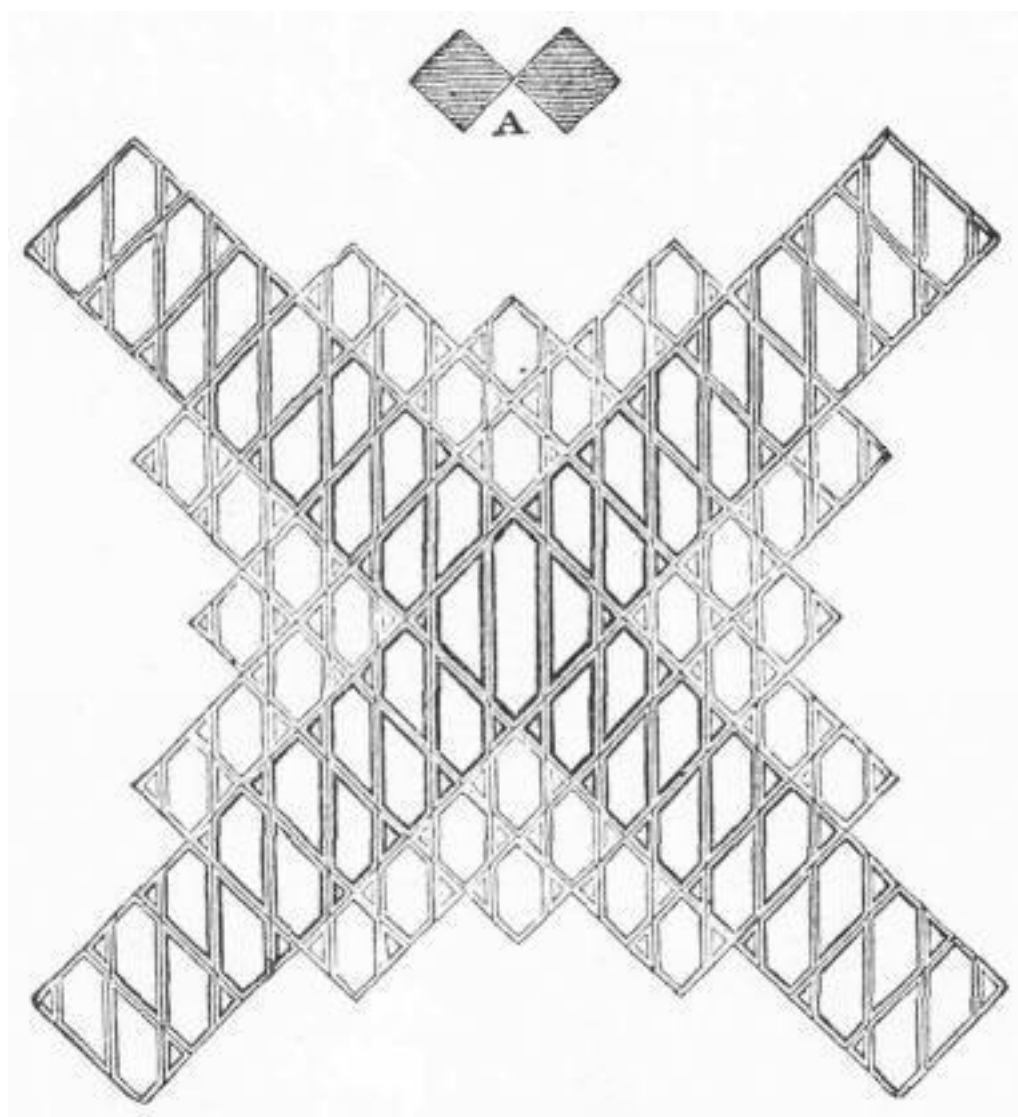


Рис. 20.

Уличные фонари ночью, если смотреть на них сквозь сеточку носового платка, демонстрируют явления дифракции. Эффекты дифракции, полученные при просмотре сквозь птичьи перья, как показал Шверд, очень яркие. Переливчатость некоторых альпийских облаков также является эффектом дифракции, который могут имитировать споры *Lusorodium*. При встряхивании над стеклянной пластинкой эти споры вызывают появление точки света, на которую можно смотреть через запыленную пластинку, в окружении цветных кругов, которые становятся по-настоящему яркими, когда освещение становится интенсивным. Взмбалтываемые на воздухе споры производят тот же эффект. Явления дифракции, полученные при искусственном осаждении облаков изпаров различных жидкостей в трубе с интенсивным освещением, как я уже показывал в другом месте, чрезвычайно точны.

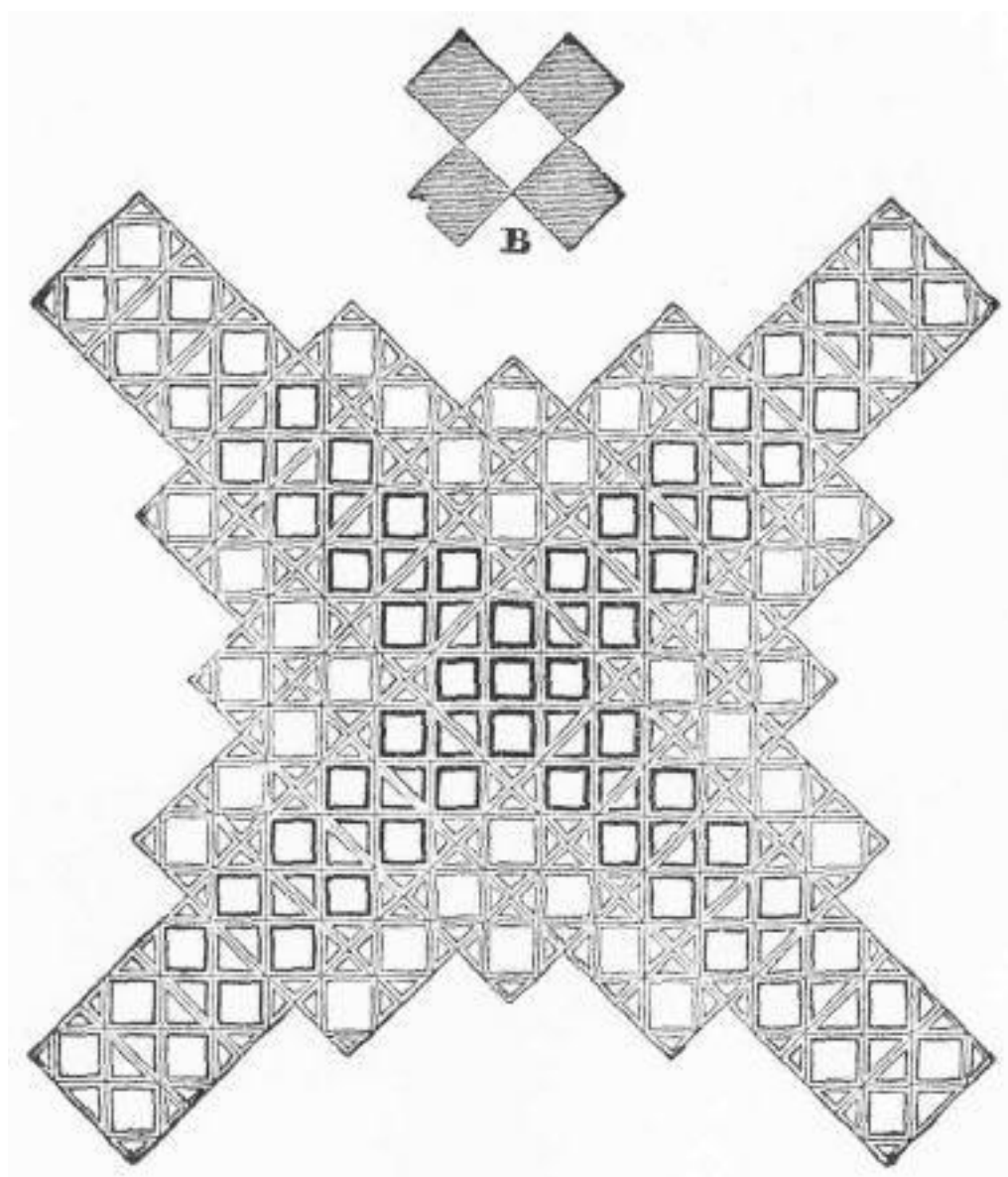


Рис. 21.

Одним из самых интересных случаев дифракции на мелких частицах, которые когда-либо встречались мне, был случай с художником, которому мешали видеть ярко окрашенные круги. Он очень боялся потерять зрение, называя причиной своего усилившегося страха то, что круги становились больше, а цвета - ярче. Я приписал цвета мельчайшим частицам в жидкостях глаза и рискнул подбодрить его, заверив, что увеличение размера и яркости кругов указывает на то, что дифрагирующие частицы становятся *меньше* и что в конце концов они могут быть полностью поглощены. Предсказание подтвердилось. Нет необходимости говорить несколько слов о необходимости оптических знаний в случае практического окулиста.

Не вдаваясь в подробности хроматических явлений, проявляющихся в кристаллах, здесь можно упомянуть два других источника цвета. Из-за вмешательства в атмосферу земли свет звезды, как показал Араго, гаснет сам по себе, причем мерцание звезды и изменения цвета, которым она подвергается, обусловлены этой причиной. Глядя на такую звезду в театральный бинокль и встряхивая стекло так, чтобы изображение звезды быстро прошло по сетчатке, вы создаете ряд цветных шариков, промежутки между которыми соответствуют периодам затухания. Тонкие

царапины, нанесенные на стекло или полированный металл, отражают волны света от своих сторон; а некоторые, отражаясь от противоположных сторон одной и той же царапины, интерферируют и гасят друг друга. Но наклонное отражение, которое гасит более короткиеволны, не гасит более длинные, отсюда и феномены цветов. Они называются цветами *бороздчатых поверхностей*. Они прекрасно иллюстрируются перламутром. Эта скорлупа состоит из чрезвычайно тонких слоев, которые, будучи разрезанными поперек при полировке скорлупы, обнажают свои края и образуют необходимые мелкие и правильные бороздки. Наиболее убедительным доказательством того, что цвета обусловлены механическим состоянием поверхности, является установленный Брюстером факт, что, тщательно оттискивая раковину черным сургучом, мы переносим бороздки и получаем на сургуче перламутровый оттенок.

ЛЕКЦИЯ III.

СВЯЗЬ ТЕОРИЙ С ОПЫТОМ

ПРОИСХОЖДЕНИЕ ПОНЯТИЯ О ПРИТЯЖЕНИИ СИЛЫ ТЯЖЕСТИ

ПОНЯТИЕ ПОЛЯРНОСТИ, КАК ГЕНЕРИРУЮТСЯ СТРУКТУРНЫЕ СТРУКТУРЫ

АТОМНОЙ ПОЛЯРНОСТИ

ИЗ-ЗА ПОЛЯРНОСТИ

АРХИТЕКТУРЫ КРИСТАЛЛОВ, РАССМАТРИВАЕМОЙ КАК ВВЕДЕНИЕ

В ИХ ВОЗДЕЙСТВИЕ НА СВЕТ

ПОНЯТИЕ АТОМНОЙ ПОЛЯРНОСТИ, ПРИМЕНЯЕМОЕ К КРИСТАЛЛИЧЕСКОЙ СТРУКТУРЕ

ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫЕ ИЛЛЮСТРАЦИИ

КРИСТАЛЛИЗАЦИЯ ВОДЫ

РАСШИРЕНИЕ ПОД ДЕЙСТВИЕМ ТЕПЛА И ХОЛОДА

РАССМОТРЕНО И ОБЪЯСНЕНО ПОВЕДЕНИЕ ВОДЫ

ВЛИЯНИЕ КРИСТАЛЛИЗАЦИИ НА ОПТИЧЕСКИЕ ЯВЛЕНИЯ

РЕФРАКЦИЯ

ДВОЙНОЕ ПРЕЛОМЛЕНИЕ

ПОЛЯРИЗАЦИЯ

ДЕЙСТВИЕ ТУРМАЛИНА

ХАРАКТЕР ЛУЧЕЙ ОБРАЗУЕТСЯ ИЗ ИСЛАНДСКОГО ШПАТА

ПОЛЯРИЗАЦИЯ При ОБЫЧНОМ ПРЕЛОМЛЕНИИ И ОТРАЖЕНИИ

ДЕПОЛЯРИЗАЦИЯ

§ 1. Вывод теоретических концепций из опыта.

Одной из целей нашей последней лекции, и это не в последнюю очередь важно, было показать, каким образом формируются научные теории. Они, в первую очередь, возникают из желания разума проникнуть к истокам явлений. С самого своего бесконечно малогоначала, в давние

века, это желание выросло и окрепло, превратившись во властное требование интеллектуальной природы человека. Это давным-давно побудило Цезаря сказать, что он обменял бы свои победы на проблеск истоков Нила; это отразилось в атомных теориях Лукреция; это подтолкнуло Дарвина к тем смелым спекуляциям, которые в последние годы так взволновали общественное сознание. Но ни в коем случае, создавая теории, воображение не *создает* их материалы. Он расширяет, уменьшает, формирует и облагораживает, в зависимости от обстоятельств, материалы, почерпнутые из мира фактов и наблюдений.

Это более очевидно в теории, подобной теории света, где разуму представляются движения субчувственной среды, эфира. Но ни одна теория не избежит этого условия. Ньютон позаботился о том, чтобы не загромождать идею тяготения ненужными физическими концепциями; но мы знаем, что он потворствовал им, хотя и не связывал их со своей теорией. Но даже теория в ее нынешнем виде не вошла в сознание как откровение, отделенное от мира опыта. Зародыш концепции о том, что солнце и планеты удерживаются вместе силой притяжения, следует искать в том факте, что ранее было замечено, что магнит притягивает железо. Таким образом, представление о материи, притягивающей материю, пришло извне, а не изнутри. В нашей настоящей лекции магнитная сила должна служить порталом в новую область; но в первую очередь мы должны овладеть ее элементарными явлениями.

Общие факты о магнетизме проще всего проиллюстрировать на примере намагниченного стального стержня, обычно называемого стержневым магнитом. Помещая такой магнит вертикально на стол и поднося магнитную стрелку к его основанию, можно наблюдать, как один конец иглы удаляется от магнита, в то время как другой так же быстро приближается. Игла удерживается там дрожащей благодаря какому-то невидимому воздействию, оказываемому на нее. Поднимая иглу вдоль магнита, но по-прежнему избегая контакта, скорость ее колебаний уменьшается, потому что сила, действующая на нее, становится слабее. В центре колебания прекращаются. Выше центра конец иглы, который ранее был направлен к магниту, отступает, а противоположный конец приближается. По мере того как мы поднимаемся выше, колебания становятся более сильными, потому что сила становится сильнее. На верхнем конце магнита, как и на нижнем, сила достигает максимума; но вся нижняя половина магнита, от E до S (рис. 22), притягивает один конец иглы, в то время как вся верхняя половина, от E до N, притягивает противоположный конец. Эта *двойственность* магнитной силы называется *полярностью*, а точки вблизи концов магнита, в которых, по-видимому, сосредоточены силы, называются его *полюсами*.

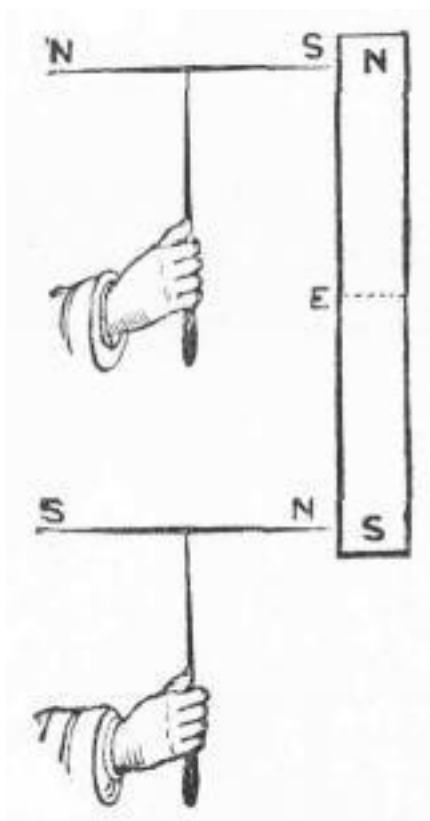


Рис. 22.

Что же тогда произойдет, если мы разломим этот магнит надвое в центре E? Получим ли мы два магнита, каждый с одним полюсом? Нет, каждая половинка сама по себе является совершенным магнитом, обладающим двумя полюсами. Это можно доказать, сломав что-то менее ценное, чем магнит, - например, сталь женского корсета, закаленную и намагниченную. Это действует как магнит. Будучи разбитой, каждая половинка действует как целое; и когда эти части снова разбиты, мы по-прежнему имеем совершенный магнит, обладающий, как и в первом случае, двумя полюсами. Доведите свой разрыв до предельно разумного предела — вы не можете на этом остановиться. Предвзятость, полученная в результате наблюдения, безошибочно выведет вас за пределы органов чувств и заставит вас рассматривать то, что мы называем магнитной полярностью, как находящееся в элементарных частицах стали. Вы приходите к выводу, что каждая молекула магнита наделена этой полярной силой.

Подобно всем другим силам, эта сила магнетизма подчиняется механическим законам; и, зная направление и величину этой силы, мы можем предсказать ее действие. Поместив маленькую магнитную стрелку рядом со стержневым магнитом, она принимает определенное положение. Это положение теоретически можно вывести из взаимного действия полюсов. Перемещая иглу вокруг магнита, для каждой точки окружающего пространства существует определенное направление иглы и никакое другое. Железная игла будет отвечать так же хорошо, как магнитная стрелка; потому что железная игла намагничивается магнитом и действует точно так же, как стальная игла, намагниченная независимо.

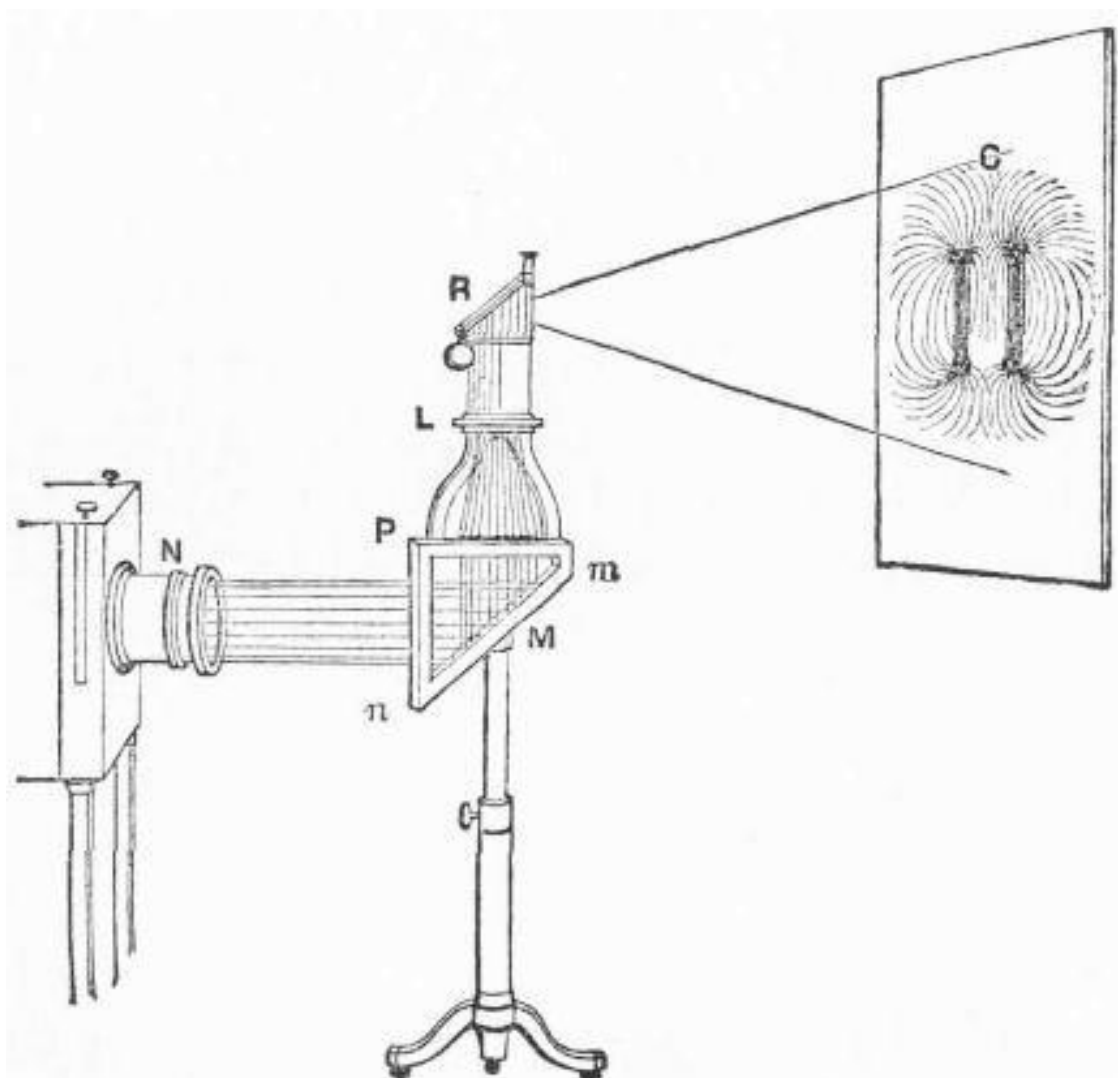


Рис. 23.

N - сопло лампы; М - плоское зеркало, отражающее луч вверх. В точке Р размещены магниты и железные опилки; L - линза, формирующая изображение магнитов и опилок; и R - полностью отражающая призма, отбрасывающая изображение G на экран.

Если мы поместим две или более железных иглы рядом с магнитом, действие станет более сложным, поскольку тогда магнит воздействует не только на иглы, но и друг на друга. И если мы перейдем к более мелким частицам железа — например, к железным опилкам, — мы обнаружим, что они действуют по существу как иглы, принимая определенные формы в соответствии с магнитным действием.

Помещая лист бумаги или стекла на стержневой магнит и осыпая бумагу железными опилками, я замечаю, что опилки имеют тенденцию выстраиваться в определенные линии. Они не могут свободно следовать этой тенденции, поскольку им мешает трение о бумагу. Им помогают постукивания по бумаге; каждое постукивание на мгновение освобождает их и позволяет им следовать своим тенденциям. Но это эксперимент, который могу увидеть только я. Чтобы вы все могли это увидеть, я беру пару маленьких магнитов и с помощью простого оптического устройства выводю увеличенные изображения магнитов на экран. Рассыпав железные опилки по стеклянной пластинке, к которой прикреплены маленькие магниты, и постукивая по

пластинке, вы видите расположение железных опилок по тем магнитным кривым, которые так давно знакомы ученым (рис. 23).

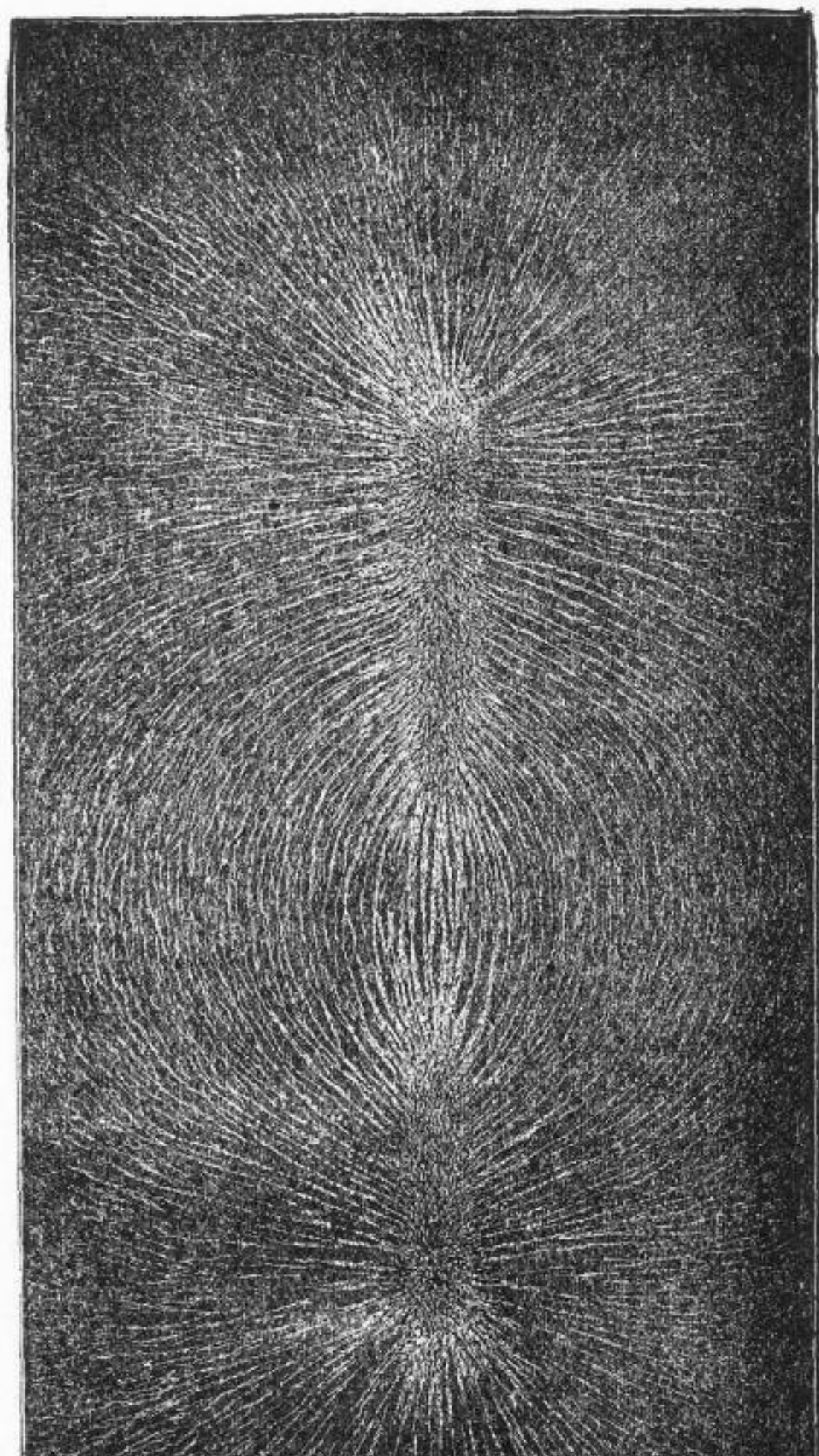
(Профессору Майеру из Хобокена с помощью очень остроумного устройства удалось зафиксировать и сфотографировать магнитные кривые. Я в долгу перед его добротой за прилагаемую прекрасную иллюстрацию, рис. 24.)

Вид этих кривых настолько очаровал Фарадея, что большая часть его интеллектуальной жизни была посвящена размышлениям над ними. Он наделил пространство, через которое они проходят, своего рода материальностью; и есть вероятность, что прогресс науки, связывающий явления магнетизма со светоносным эфиром, докажет, что эти "силовые линии", как любил называть их Фарадей, представляют собой условие этого таинственного субстрата всего лучистого действия.

Однако сейчас нам предстоит рассмотреть не магнитные кривые как таковые, а их связь с теоретическими концепциями. Посредством воздействия стержневого магнита на иглу мы получаем представление о полярной силе; разрывая полоску намагниченной стали, мы приходим к представлению о том, что полярность может прикрепляться к элементарным частицам материи. Эксперимент с железными опилками вводит в сознание новую идею, а именно идею *структурного устройства*. Каждая пара опилок обладает четырьмя полюсами, два из которых притягивают, а два отталкивают. Полюса притяжения приближаются, полюса отталкивания отступают; следствием этого является определенное расположение частиц относительно друг друга.

§ 2. Теория кристаллизации.

Теперь эта идея структуры, порожденная полярной силой, открывает путь интеллекту в совершенно новую область, и причина, по которой вас просят сопровождать меня в эту область, заключается в том, что наше следующее исследование связано с действием кристаллов на свет. Прежде чем говорить об этом действии, я хочу, чтобы вы интеллектуально осознали процесс кристаллической архитектуры. Затем загляните в гранитный карьер и потратьте несколько минут на изучение породы. У нее не совсем однородная текстура. Это скорее скопление кусочков, которые при осмотре приобретают любопытно очерченные формы. Здесь есть то, что минералоги называют кварцем, у вас есть полевой шпат, у вас есть слюда. В минералогическом шкафу, где эти вещества хранятся отдельно, вы получите некоторое представление об их формах. Вы увидите там также образцы берилла, топаза, изумруда, турмалина, тяжелого шпата, плавикового шпата, исландского шпата - возможно, это полноценный алмаз, поскольку он вышел из рук Природы, еще не попав в руки гранильщика.



Вы увидите, что эти кристаллы собраны в соответствии с законом; они не являются случайным продуктом; и, если вы потрудитесь изучить их более детально, вы обнаружите, что их архитектуру можно до некоторой степени раскрыть. Они часто раскалываются в определенных направлениях перед острием ножа, обнажая гладкие и блестящие поверхности, которые называются плоскостями спайности; и, следуя этим плоскостям, вы иногда достигаете внутренней формы, замаскированной под внешней формой кристалла. Поразмышляйте над этими прекрасными зданиями скрытого строителя. Вы не можете не спросить себя, как они были построены; и поскольку вы теперь знакомы с понятием полярного взаимодействия и способностью этого взаимодействия создавать структурные структуры, ваш неизбежный ответ будет заключаться в том, что эти кристаллы построены за счет игры полярных сил, которыми наделены их молекулы. Благодаря этим силам молекула накладывается на молекулу совершенно определенным образом, и конечная видимая форма кристалла зависит от этой игры его первичных частиц.

Повсюду в Природе мы наблюдаем эту тенденцию приобретать определенные формы, и нет ничего проще, чем придать этой тенденции размах с помощью искусственных приспособлений. Растворите селитру в воде и дайте воде медленно испариться; селитра остается, и раствор вскоре становится настолько концентрированным, что сохранять жидкое состояние больше невозможно. Молекулы селитры сближаются друг с другом и, наконец, попадают в зону действия своих полярных сил. Они выстраиваются, подчиняясь этим силам, и сначала образуется крошечный кристалл селитры. На этом кристалле молекулы продолжают осаждаться из окружающей жидкости. Кристалл растет, и, наконец, у нас получаются большие призмы из селитры, каждая совершенно определенной формы. Квасцы кристаллизуются таким образом с предельной легкостью. Однако полученный кристалл отличается по форме от кристалла селитры, поскольку полюса молекул расположены по-другому. Когда за ними *ухаживают* должным образом, кристаллы этих веществ могут вырасти до больших размеров.

Условием идеальной кристаллизации является то, что кристаллизующая сила должна действовать обдуманно. В его работе не должно быть спешки; но каждой молекуле должно быть позволено, без помех со стороны соседей, осуществлять свои права. Если кристаллизация происходит слишком внезапно, регулярность исчезает. Воду можно насытить сульфатом соды, растворить, когда вода нагреется, а затем дать ей остыть. В холодном состоянии раствор перенасыщается, то есть в нем содержится больше твердого вещества, чем соответствует его температуре. По-прежнему молекулы не проявляют никаких признаков того, что собираются вместе.

Это очень примечательный, хотя и очень распространенный факт. Молекулам в центре жидкости настолько мешают действия их соседей, что они лишены свободы следовать своим собственным тенденциям. Зафиксируйте мысленный взор на молекуле внутри массы. Оно желает объединиться со своим соседом справа, но в равной степени оно желает объединиться и со своим соседом слева; одна тенденция нейтрализует другую, и оно не объединяется ни с тем, ни с другим. Но если в раствор опустить кристаллик сульфата соды, молекулярная нерешительность прекращается. На кристалле немедленно осаждаются соседние молекулы; на них снова осаждаются другие, и этот процесс осаждения будет продолжаться от верха колбы ко дну до тех пор, пока раствор, насколько это возможно, не примет твердую форму. Полученные здесь кристаллы мелкие и беспорядочно расположены. Процесс был слишком поспешным, чтобы учесть чистое и упорядоченное действие кристаллизующей силы. Это типичное

состояние нации, в котором естественным и здоровым переменам сопротивляются до тех пор, пока общество не станет, так сказать, перенасыщенным стремлением к переменам, а затем перемены будут осуществляться путем неразберихи и революции.

Позвольте мне проиллюстрировать действие кристаллизующей силы на двух примерах: можно было бы использовать селитру, но другое хорошо известное вещество позволяет мне провести эксперимент в лучшей форме. Это вещество представляет собой обычный нашатырный спирт, или хлорид аммония, растворенный в воде. Идеально очищая стеклянную пластину, раствор хлорида разливают по стакану, к которому при установке пластины на край прилипает тонкая пленка жидкости. Небольшое нагревание стекла способствует испарению, но при испарении удаляется только вода. Затем пластинку помещают в солнечный микроскоп, и изображение пленки выводится на белый экран. Тепло освещающего луча добавляется к тому, которое уже передается стеклянной пластинке, так что через минуту или две растворенная соль больше не может существовать в жидком состоянии. Затем молекула смыкается с молекулой, и вы получаете самое впечатляющее проявление кристаллизующейся энергии, занимающее весь экран. Вы можете добиться чего-то подобного, если подышите на морозные папоротники, которые зимой покрывают ваши оконные стекла, а затем понаблюдаете через карманный объектив за последующим повторным уплотнением пленки.

В этом случае силе кристаллизации препятствует прилипание пленки к стеклу; тем не менее, игра сил поразительно красива. Иногда кристаллы начинаются от края пленки и проходят через нее от этого края; поскольку, как только кристаллизация началась, молекулы предпочтительно набрасываются на уже сформированные кристаллы. Иногда кристаллы начинаются с определенных ядер в центре пленки, и каждая маленькая кристаллическая частица, находящаяся в пленке, служит отправной точкой. На протяжении всего процесса вы замечаете одну особенность, которая совершенно неизменна, а именно угловую величину. Спиккулы ответвляются от ствола, и от этих ветвей отходят другие; но углы, заключенные спиккулами, неизменны. Подобным же образом вы можете найти кристаллы квасцов, кварца и все другие кристаллы, искаженные по форме. До сих пор они находятся во власти случайностей кристаллизации; но в одном конкретном случае они утверждают свое превосходство над всеми подобными случайностями — *угловая величина* всегда строго сохраняется.

Мой второй пример действия кристаллизующей силы таков: пропуская электрический ток через жидкость, вы знаете, что мы разлагаем жидкость, и если она содержит металл, мы выделяем этот металл электролизом. Эта маленькая ячейка содержит раствор ацетата свинца, который выбран для нашей настоящей цели, потому что свинец свободно поддается этой кристаллизации. В ячейку опускаются два очень тонких платиновых провода, и они соединяются другими проводами с небольшой вольтовой батареей. При пропускании электрического тока через раствор свинец будет медленно отделяться от атомов, с которыми он сейчас соединен; он высвободится на одном из проводов, и в момент своего высвобождения он подчинится полярным силам своих атомов и создаст кристаллические формы изысканной красоты. Сейчас они перед вами, прорастают, как папоротники из проволоки, и действительно кажутся растениями, которые растут так быстро, что их хорошо видно невооруженным глазом. При изменении направления тока эти замечательные свинцовые нити растворятся, в то время как из другой проволоки сквозь жидкость пробиваются свинцовые нити. Через минуту-другую рост свинцовых деревьев возобновляется, но теперь они покрывают другую проволоку.

В процессе кристаллизации Природа впервые проявляет себя как строитель. На чем заканчиваются ее действия? Продолжает ли она за счет игры тех же сил формировать растение, а затем животное? Каким бы ни был ответ на эти вопросы, поверьте мне, представления грядущих поколений об этой загадочной вещи, которую некоторые называют "грубойматерией", будут сильно отличаться от представлений поколений прошлых.

Едва ли можно найти более прекрасный и поучительный пример этой игры молекулярных сил, чем тот, который дает вода. Вы видели изысканные формы, похожие на папоротники, образующиеся в результате кристаллизации пленки воды на холодном оконном стекле.^[15] Вы также, вероятно, заметили красивые розетки, связанные вместе кристаллизующей силой во время прохождения снежного дождя в очень тихий день. Склоны и вершины Альп зимой усыпаны этими морозными цветами. Они бесконечно различаются по красоте деталей, но повсюду сохраняется одна и та же угловая величина: несгибаемая сила, удерживающая копы и спикулы под углом 60 градусов.

Обычный лед наших озер также формируется под таким же углом. Иногда в замерзающей воде можно увидеть маленькие кристаллы звездообразной формы, каждая звезда состоит из шести лучей с углом 60 ° между каждыми двумя из них. Такая структура может быть обнаружена в обычном льду. В солнечном луче или, в противном случае, в нашем электрическом луче у нас есть инструмент, достаточно тонкий, чтобы разблокировать замороженные молекулы, не нарушая порядка их архитектуры. Вырезанный из прозрачного, прочного, равномерно замерзшего льда кусок, параллельный плоскостям замерзания, и пропускающий солнечный луч через такой кусок, он разжижается внутри в специальных точках, вокруг каждой из которых образуется шестилепестковый жидкий цветок изысканной красоты. Таким образом образуются толпы таких цветов. Из ледника мы иногда берем глыбы льда, образующие туманные пространства в остальной сплошной массе; и когда мы исследуем причину этой туманности, мы обнаруживаем, что это происходит из-за мириадов маленьких шестилепестковых цветов, в которые лед превратился благодаря простой теплопроводности.

Еще минутное увлечение кристаллизацией воды будет хорошо вознаграждено, поскольку совокупность качеств, которые делают это вещество пригодным для выполнения своей роли в Природе, вполне может вызывать удивление и стимулировать мысль. Как почти все другие вещества, вода расширяется при нагревании и сжимается при охлаждении. Давайте сначала проиллюстрируем это расширение и сжатие:—

Маленькая колба наполняется подкрашенной водой и закрывается пробкой. Через пробку проходит водонепроницаемая стеклянная трубка, в которой жидкость находится на определенной высоте. Колба и ее трубка напоминают колбу и стержень термометра. При нагревании спиртовкой вода поднимается по трубке и, наконец, переливается через край. Таким образом, показано расширение под действием тепла.

Снимая лампу и наливая замораживающую смесь вокруг колбы, столб жидкости падает, что свидетельствует о сокращении объема воды под действием холода. Но пусть замораживающая смесь продолжает действовать: падение колонны продолжается до определенной точки; затем оно прекращается. Верх колонны остается неподвижным в течение нескольких секунд, а затем начинает подниматься. Сжатие прекратилось, *иначе начинается расширение под действием холода*. Продолжайте расширение до тех пор, пока жидкость во второй раз не потечет через верхнюю часть трубки. Замораживающая смесь произвела здесь, по всей видимости, тот же

эффект, что и пламя. В случае воды сжатие от холода прекращается, а расширение от холода начинается при определенной температуре 39° по Фаренгейту. Здесь практически началась кристаллизация, молекулы готовятся к последующему акту затвердевания, который происходит при температуре 32° и при котором расширение внезапно достигает кульминации. В силу этого расширения лед, как вы знаете, легче воды в пропорции 8 к 9.[16]

Здесь затронута молекулярная проблема, представляющая большой интерес, и сейчас я хочу предложить вам, к удовлетворению ваших умов, возможное решение проблемы: —

Рассмотрим, таким образом, идеальный случай, когда несколько магнитов лишены веса, но сохраняют свои полярные силы. Если бы у нас была подвижная жидкость с удельным весом стали, мы могли бы, заставив магниты плавать в ней, осознать такое положение вещей, поскольку в такой жидкости магниты не тонули бы и не плавали. Итак, принцип тяготения, провозглашенный Ньютоном, состоит в том, что каждая частица материи любого вида притягивает все остальные частицы с силой, изменяющейся обратно пропорционально квадрату расстояния. Таким образом, в силу притяжения магниты, если бы они могли двигаться совершенно свободно, медленно приближались бы друг к другу.

Но помимо неполярной силы притяжения, которая присуща материи в целом, магниты наделены полярной силой магнетизма. Некоторое время, однако, полярные силы не вступают в ощутимую игру. В этом состоянии магниты напоминают наши молекулы воды при температуре, скажем, 50° . Но в конце концов магниты оказываются достаточно близко друг к другу, чтобы их полюса могли взаимодействовать. С этого момента действие перестает быть исключительно общим притяжением масс. Теперь в игру вступают притяжения особых точек масс и отталкивания других точек; и легко видеть, что перестановка магнитов, возникающая в результате введения этих новых сил, может быть такой, что потребует большего пространства. Я полагаю, это относится и к нашим молекулам воды. Подобно нашим идеальным магнитам, они некоторое время притягиваются друг к другу как *единое целое*. До достижения температуры 39° по Фаренгейту полярные силы, несомненно, начали действовать, но именно при этой температуре их притяжения на большее пространство точно уравнивают сжатие из-за холода. При более низких температурах в отношении изменения объема преобладают полярные силы. Но они продолжают борьбу с силой сжатия до тех пор, пока не будет достигнута температура замерзания. Затем молекулы смыкаются, образуя твердые кристаллы, непосредственным следствием чего является значительное увеличение объема.

§ 3. Обычное преломление света, объясняемое волновой теорией.

Теперь мы должны показать влияние этого акта кристаллизации на оптические явления. Согласно волновой теории, скорость света в воде и стекле меньше, чем в воздухе. Рассмотрим, затем, небольшую порцию волны, исходящей от световой точки, находящейся на таком расстоянии, что эту ничтожную область можно рассматривать практически как плоскость. Двигаясь вертикально вниз и ударяясь о горизонтальную поверхность стекла или воды, волна проходила бы через среду, не меняя направления. Поскольку, однако, скорость в стекле или воде меньше скорости в воздухе, волна будет замедляться при прохождении в более плотную среду.

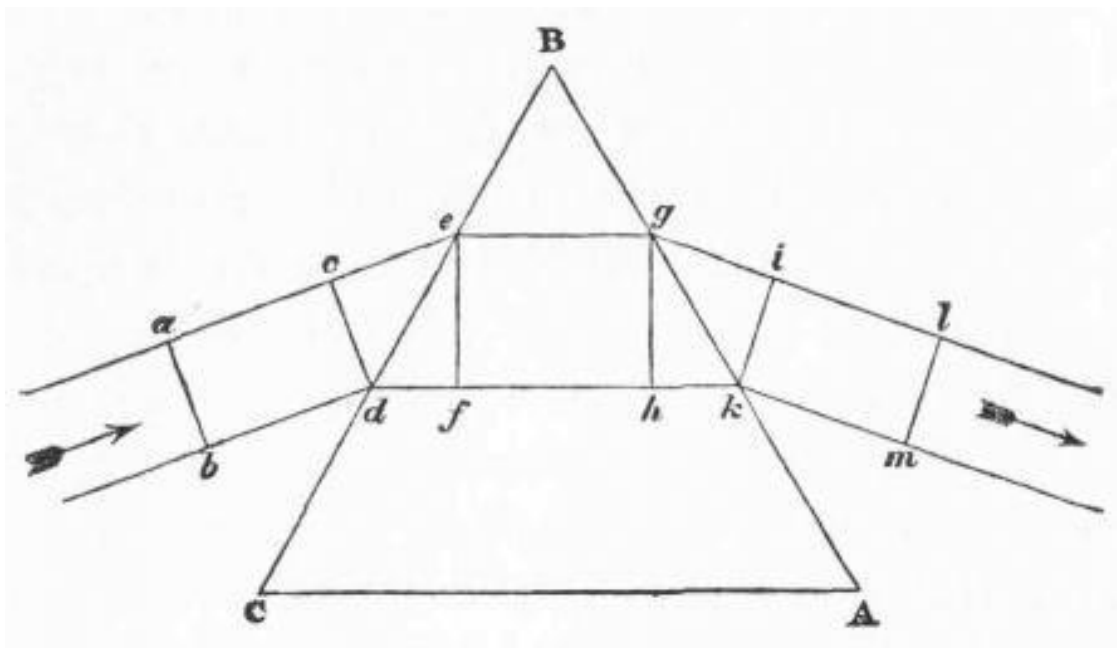


Рис. 25.

Но предположим, что волна, прежде чем достичь стекла, должна быть *наклонена* к поверхности; тот конец волны, который первым достигнет среды, будет первым, заторможенным ею, а остальные части, когда они попадают в стекло, будут заторможены последовательно. Легко видеть, что это замедление одного конца волны должно приводить к тому, что она поворачивается и меняет свой фронт, так что, когда волна полностью входит в стекло, ее направление становится наклонным к ее первоначальному направлению. Согласно волновой теории, таким образом, свет *преломляется*.

Руководствуясь этими соображениями, давайте проследим за движением луча монохроматического света через нашу стеклянную призму. Скорость в воздухе равна ее скорости в стекле как 3: 2. Пусть ABC (рис. 25) - сечение нашей призмы, а *ab* - сечение плоской волны, приближающейся к ней в направлении, указанном стрелкой. Когда она достигает *c d*, один конец волны находится в точке входа в стекло. Следуя этому еще дальше, очевидно, что в то время, как часть волны, все еще находящаяся в воздухе, проходит расстояние *ce*, the wave in the glass will have passed over only two-thirds of this distance, or *df*. Линия *ef* теперь отмечает фронт волны. Полностью погруженный в стекло, он проходит свой путь к *gh*, где *конец волны* с скоростью, близкой к тому, чтобы вырваться в воздух. За время, необходимое концу *h* волны, чтобы преодолеть расстояние *hk* to the surface of the prism, the other end *g*, moving more rapidly, will have reached the point *i*., Следовательно, волна снова изменила свой фронт, так что после выхода из призмы она перейдет к *lm*, а затем в направлении, указанном стрелкой. Преломление луча, таким образом, полностью учтено; и это, более того, основано на реальном эксперименте, который доказывает, что отношение скорости света в стекле к его скорости в воздухе является указанным здесь. Ясно, что если бы изменение скорости при попадании в стекло было больше, то и преломление было бы больше.

§ 4. Двойное преломление света, объясняемое волновой теорией.

Двумя элементами скорости распространения звука и света в любом веществе, какими бы они ни были, являются *эластичность* и *плотность*, причем скорость увеличивается с увеличением первого и уменьшается со вторым. Огромная скорость света в звездном

пространстве достижима потому, что эфир одновременно обладает бесконечно малой плотностью и огромной эластичностью. Теперь эфир окружает атомы всех тел, но он не независим от них. В весомой материи это действует так, как если бы ее плотность увеличилась без пропорционального увеличения упругости; и это объясняет уменьшение скорости света в преломляющих телах. Здесь мы подходим к вопросу кардинальной важности. В силу рассматриваемой нами кристаллической архитектуры эфир во многих кристаллах обладает разной плотностью и разной эластичностью в разных направлениях; следствием этого является то, что в таких кристаллах свет передается с разной скоростью. И поскольку преломление полностью зависит от изменения скорости при входе в преломляющую среду, будучи наибольшим там, где изменение скорости наибольшее, мы имеем во многих кристаллах два различных преломления. С помощью таких кристаллов луч света разделяется на два. Этот эффект называется *двойным преломлением*.

Например, в обычной воде в группировке молекул нет ничего, что могло бы нарушить идеальную однородность эфира; но когда вода кристаллизуется в лед, дело обстоит иначе. В пластинке льда упругость эфира в направлении, перпендикулярном поверхности замерзания, отличается от направления, параллельного поверхности замерзания; следовательно, лед является веществом с двойным преломлением. Двойное преломление особенно впечатляюще проявляется в исландском шпате, представляющем собой кристаллизованный карбонат извести. Разница эфирной плотности в двух направлениях в этом кристалле очень велика, поэтому разделение луча на две половины особенно поразительно.

Я не желаю прекращать эту тему до тех пор, пока она не станет безошибочно ясной в ваших умах. Поскольку колебания света являются поперечными, упругость, связанная с распространением любого луча, - это упругость под прямым углом к направлению распространения. В исландском шпате есть одно направление, вокруг которого симметрично построены кристаллические молекулы. Это направление называется осью кристалла. Вследствие этой симметрии упругость одинакова во всех направлениях, перпендикулярных оси, и, следовательно, луч, проходящий вдоль оси, не испытывает двойного преломления. Но упругость вдоль оси больше, чем упругость под прямым углом к ней. Тогда рассмотрим систему волн, пересекающих кристалл в направлении, перпендикулярном оси. Для таких волн открыты два направления вибрации: частицы эфира могут вибрировать параллельно оси или перпендикулярно ей. *Они делают и то, и другое*, и, следовательно, немедленно разделяются на две системы, распространяющиеся с разными скоростями. Необходимым следствием является двойное лучепреломление.

§ 4. Двойное преломление света, объясняемое волновой теорией.

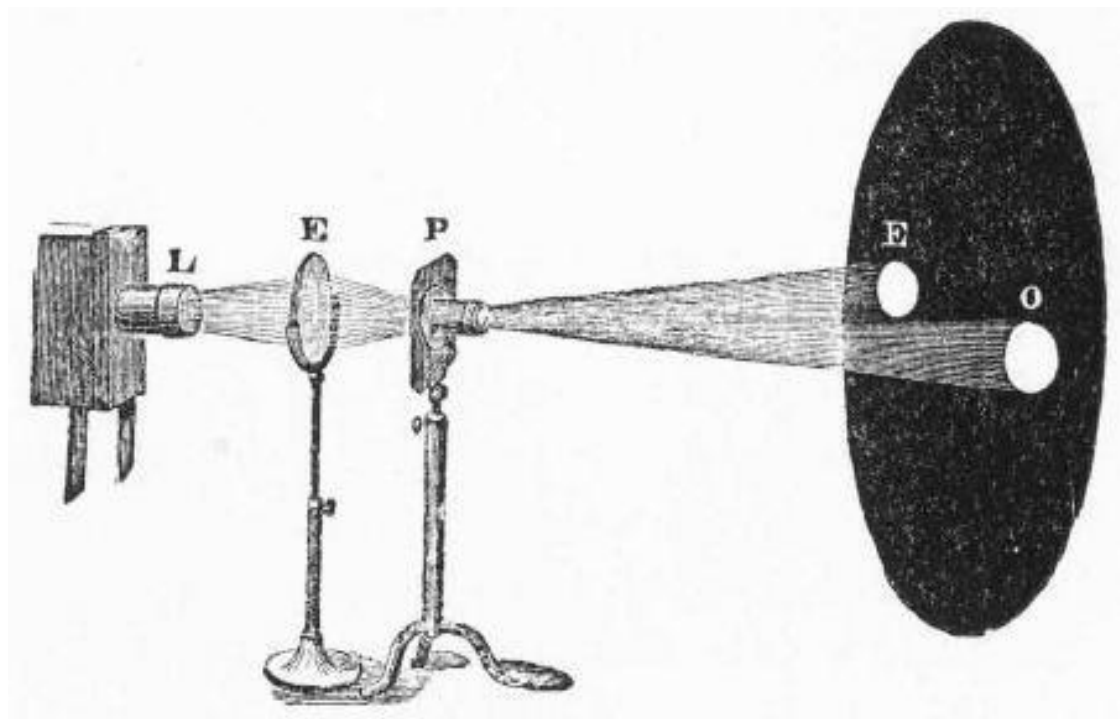


Рис. 26.

С помощью исландского шпата, вырезанного в нужном направлении, двойное лучепреломление можно легко проиллюстрировать. В результате того, что луч, который строит изображение наших угольных точек, проходит через лонжерон, одно изображение мгновенно разделяется на два. Проецирование (с помощью объектива E, рис. 26) изображения отверстия (L), через которое выходит свет от электрической лампы, и, вводя лонжерон (P), на экране сразу появляются два светящихся диска (Ео) вместо одного.

Две балки, на которые лонжерон разделяет единственный падающий луч, были подвергнуты тщательному исследованию. Они ведут себя по-разному. Один из них подчиняется обычному закону преломления, открытому Снеллом, и поэтому называется *обычным лучом*: его показатель преломления равен 1,654. Другой не подчиняется этому закону. Его показатель преломления, например, не постоянен, а варьируется от максимума 1,654 до минимума 1,483; и в этом случае падающий и преломленный лучи не всегда лежат в одной плоскости. Поэтому его называют *необычным лучом*. В математическом анализе, как только что было указано, обычный луч является наиболее преломляемым. Одно из следствий этого заслуживает внимания. Налейте воду и бисульфид углерода в две чашки одинаковой глубины; чашка, в которой находится жидкость с более сильным преломлением, будет казаться более мелкой, чем другая. Положите кусочек исландского шпата поверх чернильной точки; будут видны две точки, одна из которых ближе к глазу, чем другая. Ближайшая точка относится к наиболее сильно преломляющему лучу, точно так же, как ближайшее доньшко чашки относится к наиболее сильно преломляющей жидкости. Когда вы поворачиваете лонжерон, необычное изображение точки вращается вокруг обычного, которое остается неподвижным. Так же ведут себя на экране два наших диска.

§ 5. Поляризация света, объясняемая волновой теорией.

Двойное преломление исландского шпата впервые было рассмотрено в работе, опубликованной Эразмом Бартолинусом в 1669 году. Гюйгенс попытался объяснить это явление на принципах волновой теории, и ему это удалось. Более того, он сделал чрезвычайно важные наблюдения относительно отличительного характера двух балок, передаваемых лонжероном, признав со смиренной откровенностью, что он не решил эту трудность, и оставив решение на будущее. Ньютон, размышляя над наблюдениями Гюйгенса, пришел к выводу, что каждый из лучей, передаваемых исландским шпатом, имеет две стороны; и из аналогии этой *двусторонности с двусторонностью* магнита, в чем заключается его полярность, два луча впоследствии были описаны как *поляризованные*.

Мы можем легко и с пользой приступить к изучению поляризации света с помощью кристалла турмалина. Но начинать мы должны с четкого представления об обычном луче света. Уже было объяснено, что колебания отдельных эфирных частиц совершаются *поперек* линии распространения. В случае обычного света мы должны представить эфирные частицы как вибрирующие во всех направлениях, или азимутах, как это иногда выражают, поперек этой линии.

Теперь, в случае пластины из турмалина, ограненной параллельно оси кристалла, луч света, падающий на пластину, разделяется на два: один вибрирует параллельно оси кристалла, другой - под прямым углом к оси. Группировка молекул и эфира, связанного с молекулами, сводит все вибрации, падающие на кристалл, к этим двум направлениям. Один из этих лучей, а именно тот, колебания которого перпендикулярны оси, чрезвычайно быстро гасится турмалином. Для таких колебаний многие образцы кристалла очень непрозрачны; так что, пройдя через очень малую толщину турмалина, свет выходит наружу со всеми его колебаниями, сведенными к одной плоскости. В этом состоянии это то, что мы называем *плоскополяризованным светом*.

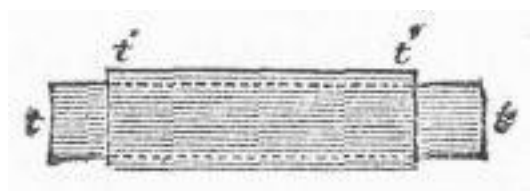


Рис. 27.

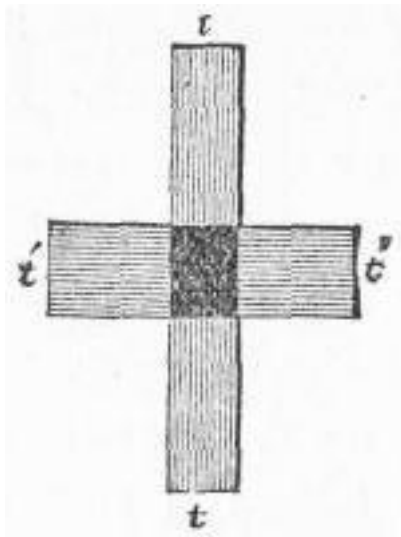


Рис. 28.

Минутное размышление покажет, что, если то, что здесь указано, верно, то при размещении второй пластины турмалина так, чтобы ее ось была параллельна первой, свет будет проходить через обе; но если оси пересекутся, свет, проходящий через одну пластину, будет подавлен другой, следствием чего будет полное перехват света. Давайте проверим этот вывод экспериментально. Изображение пластины из турмалина (t t , рис. 27) сейчас перед вами. Я помещаю параллельно ему другую пластинку (t' t'): зелень в., кристалле немного углублена, не более того; это согласуется с нашим выводом. С помощью бесконечного винта я теперь постепенно поворачиваю один из кристаллов, и вы видите, что пока две пластины расположены наклонно друг к другу, через них проходит определенная часть света; но когда они расположены под прямым углом друг к другу, пространство, общее для обоих, является пространством темноты (рис. 28). Таким образом, наш вывод, сделанный до эксперимента, подтверждается.

Давайте теперь вернемся к одной пластинке; и здесь позвольте мне сказать, что именно на зеленом свете, излучаемом турмалином, вам следует сосредоточить свое внимание. Мы должны проиллюстрировать двусторонность этого зеленого света, в отличие от односторонности обычного света. Белый свет, окружающий зеленое изображение, будучи обычным светом, отражается плоским стеклянным зеркалом во всех направлениях; зеленый свет, напротив, отражается не так сильно. Изображение турмалина теперь горизонтальное; отраженное вверх, оно по-прежнему зеленое; отраженное вбок, изображение становится черным из-за неспособности зеленого света отражаться в этом направлении. Если сделать пластину из турмалина вертикальной и отражать ее, как и раньше, то свет верхнего изображения будет погашен; боковое изображение теперь будет зеленым. Это результат величайшей значимости. Если бы колебания света были продольными, как колебания звука, у вас не могло бы быть действия такого рода; и само это действие заставляет нас предположить, что колебания являются поперечными. Представьте себе это ясно. В одном случае зеркало как бы воспринимает воздействие *краев* волн, после чего зеленый свет гаснет. В другом случае *стороны* волн ударяются о зеркало, и зеленый свет отражается. Чтобы сделать гашение полным, свет должен падать на зеркало под особым углом. Что это за угол, мы узнаем позже.

Качество двусторонности, придаваемое свету двупреломляющими кристаллами, также может быть придано ему обычным отражением. Малус сделал это открытие в 1808 году, глядя сквозь

исландский шпат на солнечный свет, отражающийся от окон Люксембургского дворца в Париже. Я принимаю на пластинку оконного стекла луч от нашей лампы; большая часть света, отраженного от стекла, поляризована. Колебания этого отраженного луча выполняются, по большей части, параллельно поверхности стекла, и когда стекло держат так, чтобы луч составлял угол 58° с перпендикуляром к стеклу, весь отраженный луч поляризуется. Именно под этим углом изображение турмалина было полностью погашено в нашем предыдущем эксперименте. Это называется *углом поляризации*.

Сэр Дэвид Брюстер доказал, что угол поляризации среды - это тот конкретный угол, под которым преломленные и отраженные лучи составляют прямой угол.^[17] Угол поляризации увеличивается вместе с показателем преломления. Для воды это $52\frac{1}{2}^\circ$; для стекла, как уже говорилось, 58° ; в то время как для бриллианта это 68° .

А теперь давайте попробуем по существу повторить эксперимент Малуса. Луч от лампы попадает под нужным углом на стеклянную пластину и отражается от лонжерона. Вместо двух изображений вы видите только одно. Так что свет, когда он поляризован, как это происходит сейчас при отражении, может проходить через лонжерон только в одном направлении и, следовательно, может создавать только одно изображение. Почему это так? В исландском шпате, как и в турмалине, все колебания обычного света сведены к двум плоскостям, расположенным под прямым углом друг к другу; но, в отличие от турмалина, оба луча лонжероном передаются с одинаковой легкостью. Короче говоря, два луча, выходящие из лонжерона, поляризованы, направления их колебаний находятся под прямым углом друг к другу. Таким образом, когда свет сначала поляризуется путем отражения, направление вибрации в лонжероне, совпадающее с направлением вибрации поляризованного луча, пропускает луч, и только в этом направлении. Таким образом, в данных условиях возможно только одно изображение.

Теперь вы заметите, что логика, связывающая наши эксперименты, является просто расшифровкой логики Природы. На экране перед вами два диска света, образующихся в результате двойного преломления исландского шпата. Как вы знаете, это два изображения отверстия, через которое свет выходит из камеры. Поместив турмалин перед отверстием, вы также получите два изображения кристалла; но теперь давайте заранее обдумаем, чего следует ожидать от этого эксперимента. Свет, исходящий от турмалина, поляризован. Если расположить кристалл горизонтально, колебания проходящего через него света будут горизонтальными. Итак, лонжерон, как уже говорилось, имеет два направления вибрации, одно из которых в данный момент является вертикальным, другое - горизонтальным. Какой вывод мы должны сделать? Что зеленый свет будет передаваться по последнему, который параллелен оси турмалина, а не по первому, который перпендикулярен этой оси. Следовательно, мы можем сделать вывод, что одно изображение турмалина будет показывать обычный зеленый свет кристалла, в то время как другое изображение будет черным. Наши рассуждения проверены экспериментально (рис. 29).

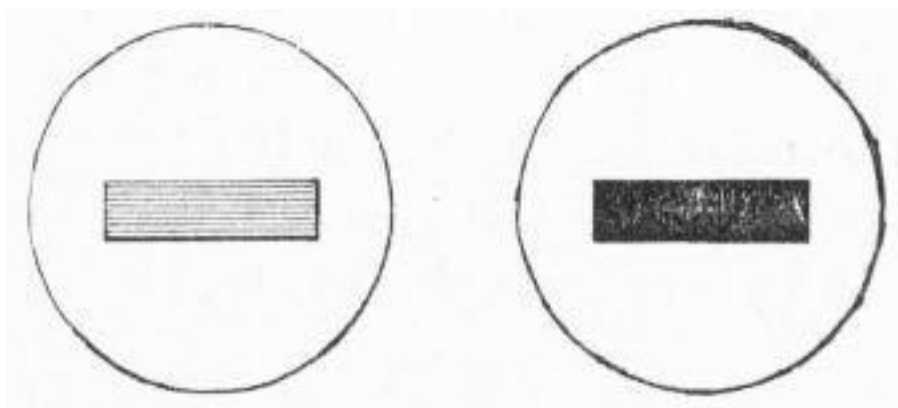


Рис. 29.

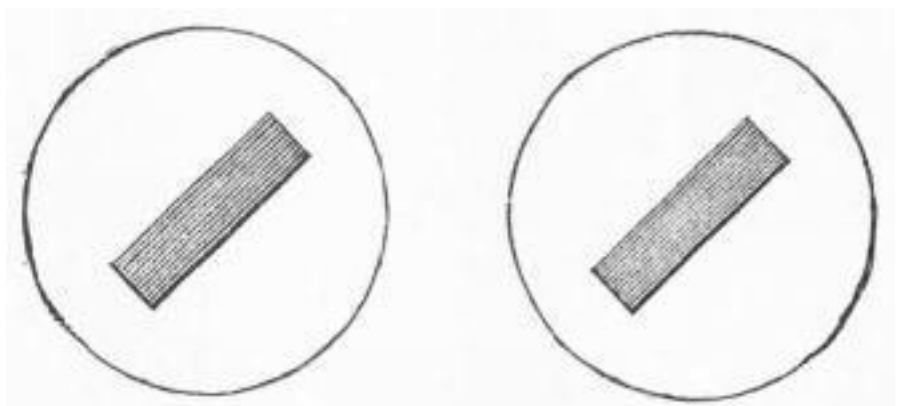


Рис. 30.

Продолжим наш тест. С помощью бесконечного винта кристалл можно повернуть на девяносто градусов. Черное изображение, по мере того как я поворачиваюсь, становится постепенно ярче, а яркое постепенно темнеет; под углом в сорок пять градусов оба изображения одинаково яркие (рис. 30); в то время как при достижении девяноста градусов ось кристалла становится вертикальной, яркое и черное изображения меняются местами, точно так, как нас заставили бы предположить рассуждения (рис. 31).

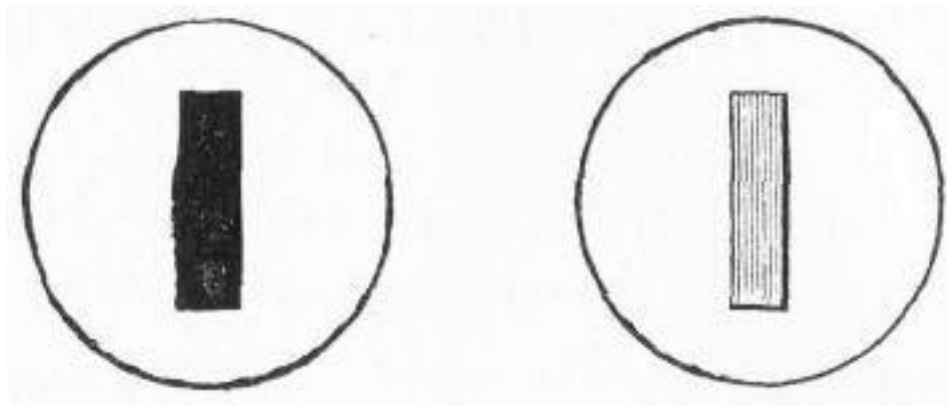


Рис. 31.

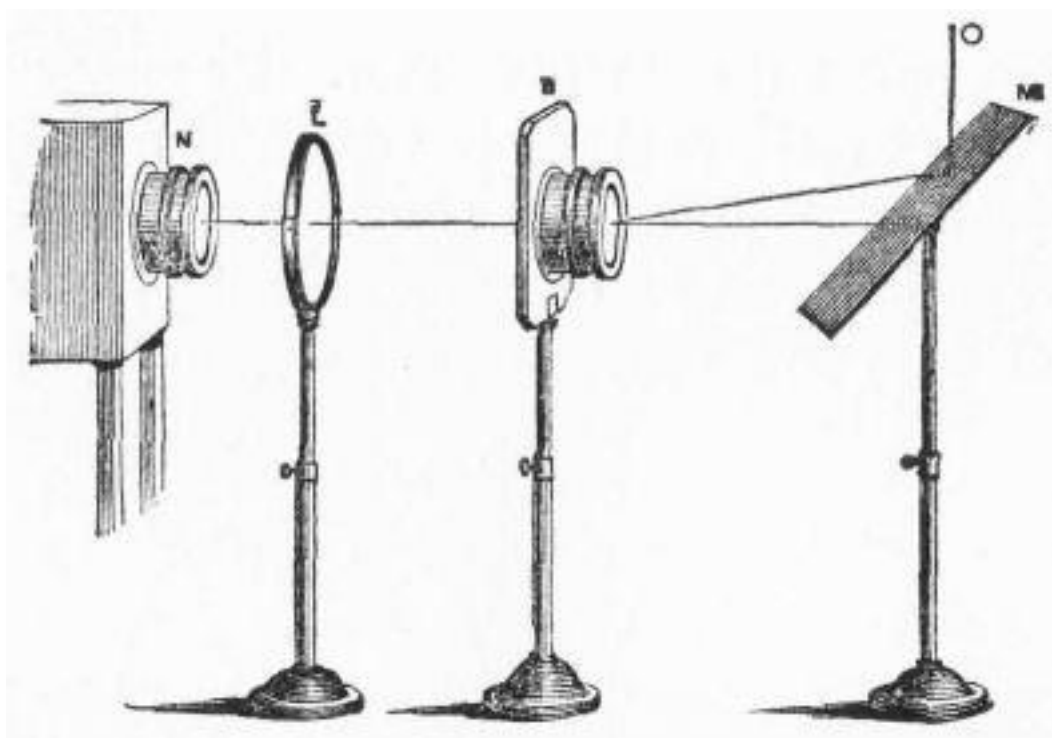


Рис. 32.

Учитывая то, что уже было сказано (стр. 114) относительно отражения света, поляризованного при прохождении через турмалин, вы легко предвидите, что должно произойти, когда мы получаем на стеклянную пластинку, удерживаемую под углом поляризации, два луча, исходящих из нашей призмы из исландского шпата. Я заставляю оба луча проходить бок о бок по воздуху, ловлю их на стеклянной пластинке и пытаюсь отразить их вверх. При таком угле поляризации только один луч может быть отражен таким образом. Какой? Вашим быстрым ответом будет луч, колебания которого горизонтальны (рис. 32). Теперь я поворачиваю стеклянную пластину и пытаюсь отразить оба луча в боковом направлении. Отражается только один из них, а именно тот, колебания которого вертикальны (рис. 33). Очевидно, что с помощью турмалина или отражающего стекла мы можем мгновенно определить направление вибрации в любом поляризованном луче.

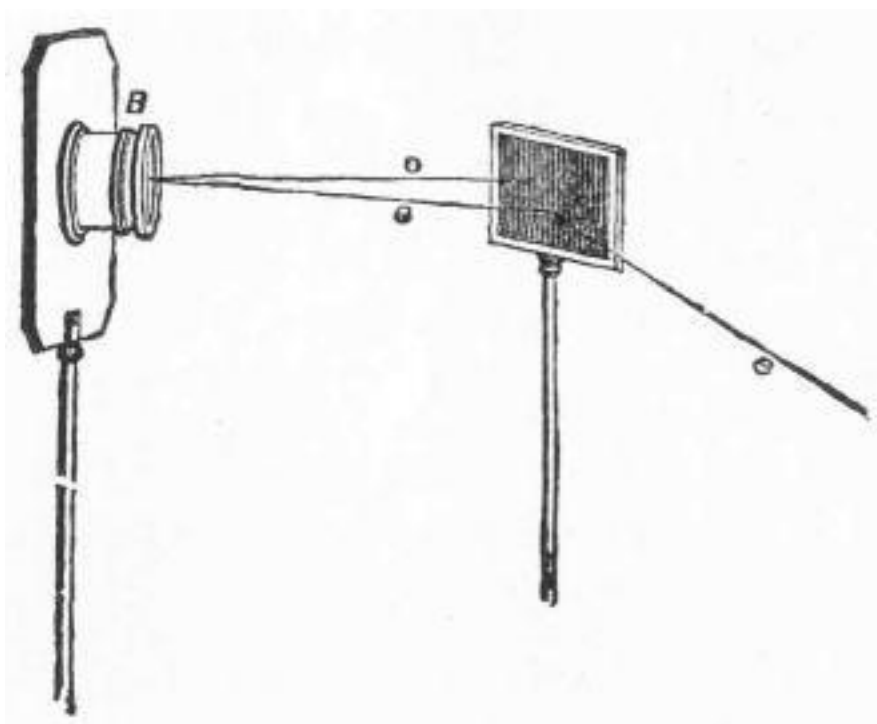


Рис. 33.

Как уже говорилось, весь луч обычного света, отраженный от стекла под углом поляризации, поляризован; теперь следует добавить несколько слов относительно гораздо большей части света, которая *пропускается* стеклом. Проходящий луч содержит количество поляризованного света, равное отраженному лучу; но это лишь малая часть всего проходящего света. Используя две стеклянные пластины вместо одной, мы увеличиваем количество пропускаемого поляризованного света; а используя *связку* пластин, мы увеличиваем количество настолько, чтобы сделать пропускаемый луч для всех практических целей *идеально* поляризованным. Действительно, пучки стеклянных пластин часто используются в качестве средства получения поляризованного света. Важно отметить, что плоскость колебаний этого проходящего света находится под прямым углом к плоскости колебаний отраженного света.

Еще одно слово. Когда турмалины пересекаются, пространство, где они пересекаются, становится черным. Но мы видели, что наименьший наклон со стороны кристаллов позволяет свету проходить через оба. Теперь предположим, что, когда две пластины скрещены, мы помещаем между ними третью пластину из турмалина так, чтобы ее ось была наклонена к обеим. Часть света, пропускаемого первой пластиной, будет проходить через эту промежуточную пластину. Но после того, как он прошел, *плоскость его вибрации* *меняется*: она больше не перпендикулярна оси находящегося впереди кристалла. Следовательно, он частично пройдет через этот кристалл. Таким образом, путем чистого рассуждения мы приходим к выводу, что установка третьей пластины из турмалина частично устранил темноту, создаваемую перпендикулярным пересечением двух других пластин. У меня нет третьей пластины турмалина, но тальк или слюда, которые вы используете в своих печах, - более удобное вещество, действующее таким же образом. Между скрещенными турмалинами я помещаю пленку из этого кристалла, ось которого наклонена к их оси. Вы видите, как край пленки медленно опускается, и по мере того, как он опускается, свет занимает место тьмы. Темнота, на самом деле, кажется соскобленной, как будто это что-то материальное. Этот эффект

был назван, естественно, но неправильно, *деполяризацией*. Его истинное значение будет раскрыто в нашей следующей лекции.

Эти эксперименты и рассуждения, если их только тщательно изучить и понять, составят прочную основу для анализа великолепных оптических явлений, которые будут рассмотрены далее.

ЛЕКЦИЯ IV.

ХРОМАТИЧЕСКИЕ ЯВЛЕНИЯ, ПРОИЗВОДИМЫЕ КРИСТАЛЛАМИ В ПОЛЯРИЗОВАННОМ СВЕТЕ
ПРИЗМА НИКОЛЯ

ПОЛЯРИЗАТОР И АНАЛИЗАТОР

ДЕЙСТВИЕ ТОЛСТЫХ И ТОНКИХ ПЛАСТИН СЕЛЕНИТА

ЦВЕТА ЗАВИСЯТ ОТ ТОЛЩИНЫ

РАЗДЕЛЕНИЕ СЕЛЕНИТОМ ПОЛЯРИЗОВАННОГО ЛУЧА НА ДВА ДРУГИХ

ОДНО ИЗ НИХ БОЛЕЕ ЗАМЕДЛЕННОЕ, ЧЕМ ДРУГОЕ

ПЕРЕСОЕДИНЕНИЕ АНАЛИЗАТОРОМ ДВУХ СИСТЕМ ВОЛН

ИНТЕРФЕРЕНЦИЯ, ТАКИМ ОБРАЗОМ, СДЕЛАЛА ВОЗМОЖНЫМ

ПОСЛЕДУЮЩЕЕ ПОЛУЧЕНИЕ ЦВЕТОВ

ДЕЙСТВИЕ ТЕЛ, МЕХАНИЧЕСКИ ДЕФОРМИРОВАННЫХ ИЛИ СПРЕССОВАННЫХ

ДЕЙСТВИЕ ЗВУКОВЫХ КОЛЕБАНИЙ

ДЕЙСТВИЕ СТЕКЛА, ДЕФОРМИРОВАННОГО ИЛИ СПРЕССОВАННОГО НАГРЕВОМ

КРУГОВОЕ ПОЛЯРИЗАЦИЯ

ХРОМАТИЧЕСКИЕ ЯВЛЕНИЯ, ПРОИЗВОДИМЫЕ КВАРЦЕМ

НАМАГНИЧИВАНИЕ СВЕТА

КОЛЬЦА, ОКРУЖАЮЩИЕ ОСИ КРИСТАЛЛОВ

БИАКСИАЛЬНЫЕ И ОДНООСНЫЕ КРИСТАЛЛЫ

ПОНИМАНИЕ ВОЛНОВОЙ ТЕОРИИ

ЦВЕТ И ПОЛЯРИЗАЦИЯ НЕБЕСНОГО СВЕТА

СОЗДАНИЕ ИСКУССТВЕННОГО НЕБА.

§ 1. *Воздействие кристаллов на поляризованный свет: призма Николя.*

У нас есть этот вечер, чтобы изучить и проиллюстрировать хроматические явления, возникающие при воздействии кристаллов и вообще тел с двойным преломлением на поляризованный свет, и применить Волновую теорию к их объяснению. Долгое время исследователи были вынуждены использовать для этой цели пластины из турмалина, и прогресс, которого они достигли с помощью столь несовершенного средства расследования, поражает. Но эти люди всей душой отдавались своей работе и благодаря этому могли добиваться замечательных результатов с помощью небольших инструментальных приспособлений. Для нашей нынешней цели нам нужен гораздо более мощный аппарат; и, к

счастью, в наши более поздние времена эта потребность была в значительной степени удовлетворена. Мы видели и исследовали два луча, исходящих из исландского шпата, и доказали, что они поляризованы. Если бы, пожертвовав половиной света, мы могли бы устранить одно из них, другое предоставило бы в наше распоряжение луч поляризованного света, несравненно более сильный, чем любой достижимый из турмалина.

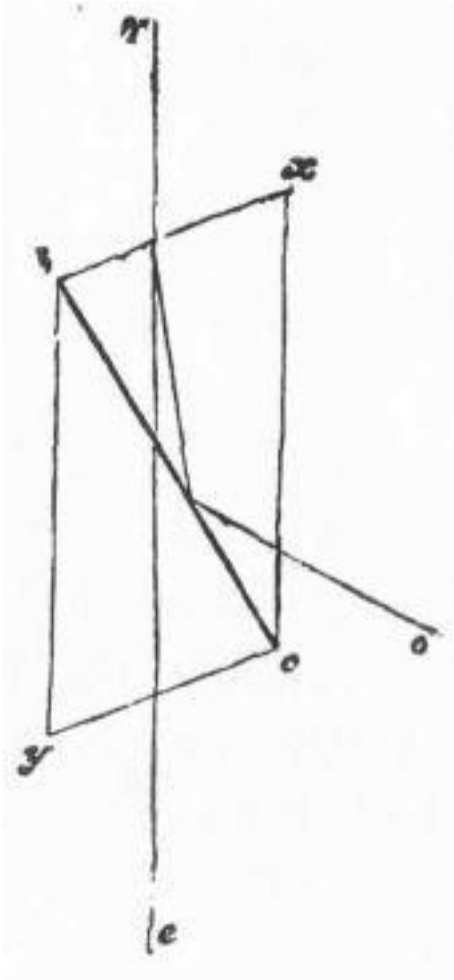


Рис. 34.

Лучи, как вы знаете, преломляются по-разному, и из этого, как ясно показано в § 4 Лекции I., мы можем сделать вывод, что один может быть полностью отражен, в то время как другой - нет. Способный оптик по имени Никол разрезал кристалл исландского шпата на две половины в определенном направлении. Он отполировал разорванные поверхности и соединил их канадским бальзамом, причем поверхность соединения была настолько наклонена к лучу, проходящему через лонжерон, что обычный луч, наиболее сильно преломляющийся, был полностью отражен бальзамом, в то время как необычному лучу было позволено проходить дальше.

Пусть b , x , c , y (рис. 34) представляют собой сечение вытянутого ромба исландского шпата, отколотого от кристалла. Пусть этот ромб будет разрезан вдоль плоскости b , c ; и две разделенные поверхности, после полировки, соедините канадским бальзамом. На нашей первой лекции мы узнали, что полное отражение имеет место только тогда, когда луч стремится вырваться из более преломляющей среды в менее преломляющую, и что это всегда, при таких обстоятельствах, имеет место, когда наклон достаточен. Теперь показатель преломления

исландского шпата для экстраординарного луча меньше, а для обычного больше, чем у канадского бальзама. Следовательно, при переходе от шпата к бальзаму необычный луч переходит из менее преломляющей среды в более преломляющую, где не может произойти полного отражения; в то время как обычный луч переходит из более преломляющей среды в менее преломляющую, где может произойти полное отражение. Необходимый наклон обеспечивается изготовлением ромба такой длины, что плоскость, сечением которой является bc , должна быть перпендикулярна или почти перпендикулярна двум торцевым поверхностям ромба $bх$, $сy$.

Изобретение призмы Николя стало большим шагом в практической оптике, и совсем недавно были сконструированы такие призмы такого размера и чистоты, которые позволяют зрителям, подобным нынешним, наблюдать хроматические явления поляризованного света в степени, совершенно недостижимой совсем недавно.

(Две призмы, использованные в этих экспериментах, были одолжены мне моим опечаленным другом мистером Уильямом Споттисвудом, а изготовлены мистером Аренсом, оптиком высочайшего мастерства.)

§ 2. Цвета пленок селенита в поляризованном свете.

Две призмы Николя играют ту же роль, что и две пластины турмалина. Расположенные так, чтобы направления их вибрации были параллельны, свет проходит через оба; в то время как при пересечении этих направлений свет гаснет. При введении пленки слюды между призмами свет, как и в случае с турмалином, восстанавливается. Но обратите внимание, когда пленка слюды тонкая иногда получается не только светлый, но и *цветной* свет. Наша работа на некоторое время вперед будет состоять из изучения таких цветов. С этой точки зрения я возьму репрезентативный кристалл, с которым легко иметь дело, потому что он очень легко расщепляется, — кристаллический гипс, или селенит, представляющий собой кристаллизованный сульфат извести. Между скрещенными Николь я помещаю толстую пластинку этого кристалла; как и слюда, он восстанавливает свет, но не дает цвета. Своим перочинным ножом я отрываю от кристалла тонкую щепку и помещаю ее между призмами; изображение осколка светится самыми насыщенными цветами. При повороте призмы вперед эти цвета постепенно тускнеют и исчезают, но при продолжении вращения до тех пор, пока вибрирующие участки призм не станут параллельны друг другу, снова возникают яркие цвета, но эти цвета дополняют предыдущие.

Некоторые участки осколка кажутся одного цвета, некоторые - другого. Эти различия обусловлены разной толщиной пленки. Как и в случае с тонкими пластинками Гука, если толщина однородна, то и цвет однородный. Вот, например, форма звезды, каждая лепешка которой представляет собой пленку гипса одинаковой толщины: вы видите, что каждая лепешка имеет яркий и однородный цвет. Придавая нашим фильмам форму цветов или других объектов, легко изобразить их в оттенках, недостижимых искусством. Вот, например, образец душевной легкости, цвета которой вы могли бы смело бросить вызов художнику в воспроизведении. Поворачивая лицевую панель Nicol на 90 градусов, мы переходим от бесцветной фазы к серии цветов, дополняющих предыдущие. Это изменение еще более ярко представлено розовым деревом, которое теперь представлено в своих естественных оттенках — красный цветок и зеленые листья; поворачивая призму на 90 градусов, мы получаем зеленый цветок и красные листья. Все эти замечательные хроматические эффекты имеют определенные механические

причины в движениях эфира. Принцип интерференции, должным образом применяемый и интерпретируемый, объясняет их все.

§ 3. Цвета кристаллов в поляризованном свете, объясняемые волновой теорией.

К этому времени вы уже усвоили, что слово "свет" может использоваться в двух различных смыслах: оно может означать впечатление, производимое на сознание, или оно может означать физическую причину впечатления. Именно этим делом мы должны заняться в настоящее время. Светоносный эфир - это субстанция, которая заполняет все пространство и окружает атомы и молекулы тел. Этой межзвездной и межатомной среде приписываются определенные механические свойства, и мы имеем дело с ней в наших рассуждениях и расчетах как с телом, обладающим этими свойствами. В механике у нас есть состав и разрешение сил и движений, распространяющиеся на состав и разрешение *вибраций*. Мы рассматриваем светоносный эфир на механических принципах, и из состава и разрешения его колебаний мы выводим все явления, проявляемые кристаллами в поляризованном свете.

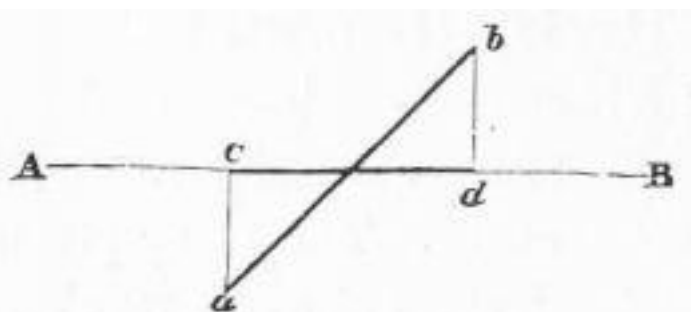


Рис. 35.

Давайте возьмем, в качестве примера, кристалл турмалина, с которым мы теперь так хорошо знакомы. Пусть вибрация пройдет через этот кристалл наклонно к его оси. Эксперимент убедил нас, что часть света будет проходить сквозь него. Количество, которое проходит, мы определяем таким образом. Пусть Б (фиг. 35) быть оси турмалина, и пусть себе *b* представляют амплитуду косой эфирной вибрации прежде, чем он достигнет Б. Из А и Б два перпендикулярах АЦ и бд быть обращено на оси: то с *d'* будет амплитуда передаваемой вибрации.

Я немедленно попрошу вас следовать за мной, пока я пытаюсь объяснить эффекты, наблюдаемые при помещении пленки гипса между двумя призмами Nicol. Но перед этим было бы желательно еще больше установить аналогию между действием призм и действием двух пластин турмалина. Увеличенные изображения этих пластин, оси которых расположены под прямым углом друг к другу, теперь перед вами. Поместив между ними пленку из селенита, вы заметите, что, повернув пленку, ее можно поместить в такое положение, когда она не сможет устранить темноту наложенных друг на друга участков турмалинов. Почему это происходит? Ответ заключается в том, что в гипсе есть два направления, расположенных под прямым углом друг к другу, только в них могут иметь место колебания, и что в нашем настоящем эксперименте одно из этих направлений параллельно одной из осей турмалина, а другое параллельно другой оси. Когда это так, пленка не оказывает никакого ощутимого воздействия на свет. Но теперь я поворачиваю пленку так, чтобы направления ее вибрации были *наклонны* к двум осям турмалина; тогда вы видите, что она использует силу, продемонстрированную в прошлой лекции, для частичного восстановления света.

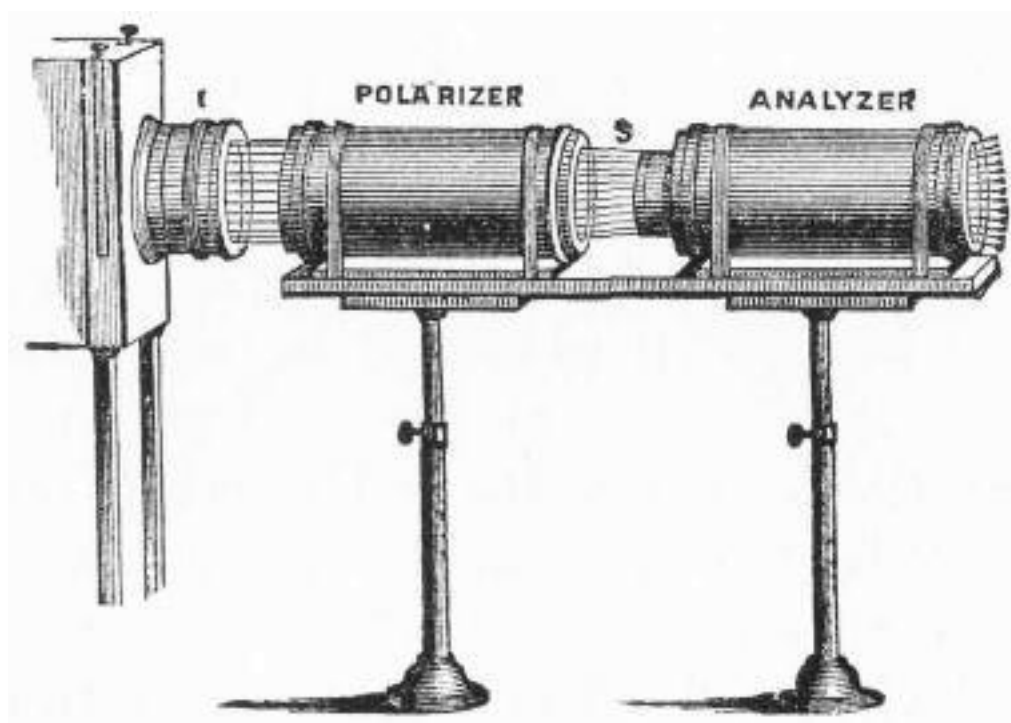


Рис. 36.

Давайте теперь установим наши призмы Nicol и скрестим их так, как мы скрестили турмалин. Поместив между ними нашу гипсовую пленку, вы заметите, что в одном конкретном положении пленка вообще не влияет на поле зрения. Но когда пленку немного поворачивают, свет проходит. Теперь мы должны понять механизм, с помощью которого это осуществляется.

Итак, во-первых, у нас есть призма, которая принимает свет от электрической лампы и которая называется *поляризатором*. Затем у нас есть гипсовая пластина (предполагается, что она должна быть размещена в точке S, рис. 36), а затем призма впереди, которая называется *анализатором*. При выходе из первой призмы свет поляризуется; и в рассматриваемом нами конкретном случае его колебания совершаются в горизонтальной плоскости. Мы должны изучить, что происходит, когда два направления вибрации в уложенном гипсе наклонены к горизонту. Нарисуйте прямоугольный крест (A B, C D, рис. 37), чтобы представить эти два направления. Нарисуйте линию (*a b*), чтобы представить амплитуду горизонтальной вибрации при появлении света от первого Николя. Пусть падают от каждого конца этой линии двух перпендикулярных линий (*B C*, *в е*, *б д*, *б е*) по две руки креста; затем расстояний (*с, Д, Е, Ж*) между ног этих перпендикулярах представляют амплитуды из двух прямоугольных колебаний, которые являются *компонентами* первого сингла вибрации. Таким образом, поляризованный луч, попадая в гипс, распадается на два его эквивалента, которые вибрируют под прямым углом друг к другу.

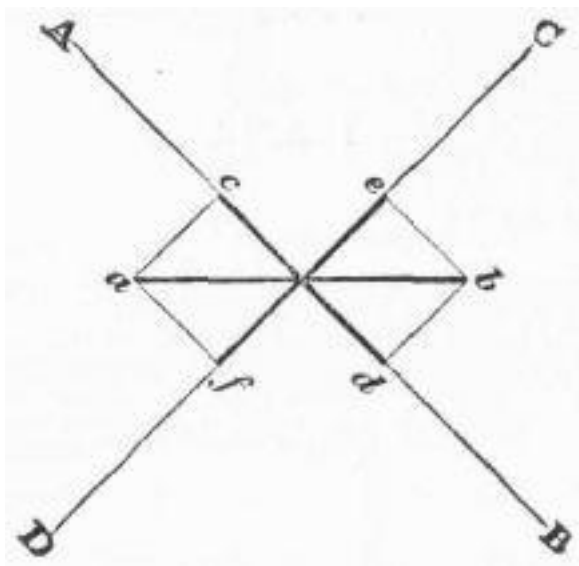


Рис. 37.

В одном из этих двух прямоугольных направлений эфир внутри гипса более медленный, чем в другом; и, как следствие, волны, которые следуют в этом направлении, более замедлены, чем другие. В обоих случаях волнистости укорачиваются, когда они входят в гипс, но в одном случае они более укорачиваются, чем в другом. Вы можете легко представить, что таким образом одна система волн может получить половину длины волны или даже любое количество полуволн раньше другой. Возможность вмешательства здесь сразу же вспыхивает в сознании. Однако небольшое рассмотрение сделает очевидным, что до тех пор, пока колебания совершаются под прямым углом друг к другу, они не могут гасить друг друга, независимо от того, каким может быть замедление. Это сразу подводит нас к роли, которую играет анализатор. Его единственная функция - повторно смешивать две вибрации, исходящие от гипса. Это сводит их к единой плоскости, где, если один из них будет задержан на соответствующую величину, произойдет вымирание.

Но здесь, как и в случае с тонкими пленками, в игру вступают волны света разной длины. Красному потребуется большая толщина для создания замедления, необходимого для гашения, чем синему; следовательно, когда более длинные волны были поглощены интерференцией, остаются более короткие, и пленка гипса сияет цветами, которые придают короткие волны. И наоборот, когда более короткие волны удаляются, толщина становится такой, что остаются более длинные волны. Достаточно элементарного соображения, чтобы показать, что когда направления вибрации призм и гипса составляют угол в сорок пять градусов, цвета достигают максимальной яркости. Когда пленку поворачивают в обратном направлении, цвета постепенно тускнеют, пока в точке, где направления колебаний пластины и призм параллельны, они не исчезают совсем.

(Лучший способ получить представление об этих явлениях - сконструировать модель из тонкого дерева или картона, представляющую гипсовую пластину, плоскости ее колебаний, а также плоскости поляризатора и анализатора. Два параллельных куска плиты должны быть разделены интервалом, который должен соответствовать толщине гипсовой пленки. Между ними два других куска, пересекающихся друг с другом под прямым углом, должны представлять плоскости вибрации внутри пленки; в то время как к двум параллельным поверхностям снаружи прикреплены два других куска доски, которые представляют плоскости вибрации поляризатора

и анализатора. На двух пересекающихся плоскостях должны быть нарисованы волны, показывающие разложение первого поляризованного луча на два других, а затем последующее сведение анализатором двух систем колебаний к общей плоскости. Строго отслеживая взаимодействие двух систем волн, такая модель учит нас, что все явления цвета, получаемые комбинацией волн, когда плоскости вибрации двух Николей параллельны, вытесняются *дополнительными* явлениями, когда плоскости вибрации перпендикулярны друг другу.)

При рассмотрении следующего пункта мы для простоты будем оперировать монохроматическим светом — например, красным светом, который легко получить чистым с помощью красного стекла. Предположим, что определенная толщина гипса приводит к задержке в половину длины волны, удвоенная толщина приведет к задержке в две половины длины волны, трехкратная толщина - к задержке в три половины длины волны и так далее. Теперь, когда Николи параллельны, задержка на половину длины волны или на *любое нечетное* число длин полуволн приводит к исчезновению; с другой стороны, при любой толщине, которая соответствует задержке на *четное* число длин полуволн, два луча поддерживают друг друга, когда анализатор приводит их в общую плоскость. Предположив, таким образом, что мы берем пластинку клиновидной формы, которая постепенно становится толще от края к задней стенке, мы должны ожидать, что при красном освещении мы увидим серию повторяющихся полос света и темноты; темные полосы возникают при толщинах, которые приводят к задержкам в одну, три, пять и т.д. половин длины волны, в то время как яркие полосы возникают между темными. Эксперимент доказывает, что эти полосы видны на клиновидной пленке. Они также прекрасно видны на круглой пленке, обработанной таким образом, чтобы она была самой тонкой в центре и постепенно увеличивалась в толщине от центра наружу. Таким образом, получается великолепная серия колец света и тьмы.

Когда вместо красного света мы используем синий, кольца также видны: но поскольку они возникают на более тонких участках пленки, они меньше, чем кольца, полученные при красном свете. Теперь можно сделать вывод о последствиях использования белого света; поскольку красный и синий цвета падают в разных местах, мы имеем *радужные* кольца, создаваемые белым светом.

Некоторые хроматические эффекты неправильной кристаллизации чрезвычайно красивы. Если бы я мог поставить между нашими двумя Николями оконное стекло, покрытое теми морозными папоротниками, которые в вашу холодную погоду сейчас так часто появляются, результатом были бы насыщенные цвета. Красивые эффекты неравномерной кристаллизации винной кислоты и других веществ на стеклянных пластинах, которые сейчас представлены вам, иллюстрируют, чего вы могли бы ожидать от матового оконного стекла. И не только кристаллические тела действуют таким образом на свет, но и почти все тела, обладающие определенной структурой, делают то же самое. Как общее правило, органические тела таким образом воздействуют на свет; ибо их архитектура подразумевает расположение молекул и связанного с молекулами эфира, что предполагает двойное преломление. Например, роговая пленка или срез раковины дают очень красивые цвета в поляризованном свете. В дереве эфир, несомненно, обладает различной степенью эластичности вдоль и поперек волокон; и, если бы древесина была прозрачной, эта особенность молекулярной структуры безошибочно проявилась бы в цветовых явлениях, подобных тем, которые вы видели.

§ 4. Цвета, получаемые при растяжении и давлении.

Таким образом ведут себя не только естественные тела, но, как показал Брюстер, возможно путем искусственного растяжения или давления придать некристаллическим телам, таким как обычное стекло, временную структуру двойного преломления. Этот момент заслуживает иллюстрации. Когда я кладу деревянный брусок себе на колено и пытаюсь сломать его, каково механическое состояние бруска? Он изгибается, и его выпуклая поверхность *напряжена* в продольном направлении; его вогнутая поверхность, которая находится рядом с моим коленом, *прижата* в продольном направлении. Как в натянутой, так и в спрессованной части древесины эфир приводится в состояние, при котором древесина, будь она прозрачной, имела бы двойное преломление. Ибо в случаях, подобных настоящему, растягивание молекул в продольном направлении всегда сопровождается их сближением друг с другом в боковом направлении; в то время как продольное сжатие сопровождается отступлением в боковом направлении. Каждая половинка деревянного бруска демонстрирует эту противоположность и, следовательно, имеет двойное преломление.

Давайте теперь повторим этот эксперимент с брусочком стекла. Между скрещенными Николь я ввожу такой брусок. По тусклому остатку света, падающему на экран, вы видите изображение стекла, но оно никак не влияет на освещение. Я просто сгибаю стеклянную планку большим и указательным пальцами, сохраняя ее длину под углом к направлению вибрации в Nicols. На экране мгновенно вспыхивает свет. Две стороны бруска освещены, края больше всего, потому что здесь напряжение и давление наибольшие. Переходя от продольного напряжения к продольному давлению, мы пересекаем часть стекла, на которую не воздействует ни то, ни другое. Это так называемая нейтральная ось стеклянного бруска, и вдоль нее вы видите темную полосу, указывающую на то, что стекло вдоль этой оси не оказывает никакого воздействия на свет. Используя силу нажатия, а не силу моего большого и указательного пальцев, яркость света значительно увеличивается.

Опять же, у меня здесь есть стеклянный квадрат, который можно вставить в пресс другого типа. Представляя несжатый квадрат между призмами, декларируется его нейтральность; но вряд ли его можно достаточно свободно держать в печати, чтобы предотвратить проявление его действия. Уже сейчас, хотя давление бесконечно мало, вы видите пятна света в местах соприкосновения пресса со стеклом. При повороте винта на экране вспыхивает изображение стеклянного квадрата. Видны светящиеся пространства, отделенные друг от друга темными полосами.

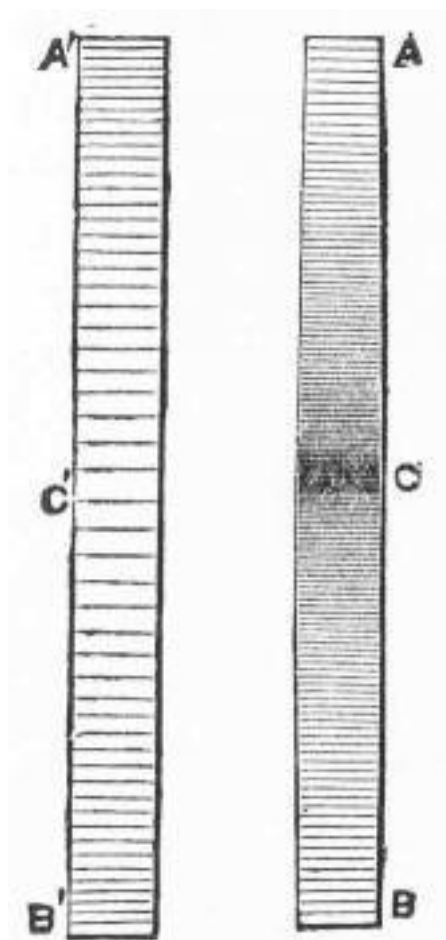


Рис. 38

Каждые два соседних пространства находятся в противоположных механических условиях. С одной стороны темной полосы у нас напряжение, с другой стороны давление, полоса, обозначающая нейтральную ось между обоими. Теперь я затягиваю тиски, и вы видите цвет; затягиваю еще сильнее, и цвета кажутся такими же насыщенными, как у кристаллов. Ослабив тиски, цвета внезапно исчезают; внезапно затягиваясь, они появляются снова. По цвету мыльного пузыря Ньютон смог определить толщину пузыря, объединив таким образом узлами мысли кажущиеся несочетаемыми вещи. Из представленных здесь цветов можно сделать вывод о величине применяемого давления. Действительно, покойный М. Вертхайм из Парижа изобрел прибор для определения деформаций и давлений по цветам поляризованного света, который превзошел по точности все предыдущие приборы подобного рода.

И теперь мы должны перенести эти соображения на заключительную иллюстрацию. Поляризованный свет можно использовать различными способами в качестве анализатора состояния молекул. Он может, например, быть применен для определения состояния твердого тела, когда оно становится звучным. Полоску стекла длиной шесть футов, шириной два дюйма и толщиной четверть дюйма зажимают в центре между большим и указательным пальцами. Проводя влажной шерстяной тряпкой по одной из его половинок, вы слышите резкий звук из-за вибрации стекла. В каком состоянии стекло, когда слышен звук? Это: две его половины удлиняются и укорачиваются в быстрой последовательности. Следовательно, два его конца находятся в состоянии быстрой вибрации; но в центре импульсы от двух концов попеременно встречаются и расходятся друг от друга. В промежутках между их противоположными

действиями стекло в центре остается неподвижным, но, с другой стороны, оно попеременно напрягается и сжимается. На рис. 38 можно считать, что АВ представляет стеклянный прямоугольник с уплотненным центром; в то время как А' В' представляет тот же прямоугольник с разреженным центром. Концы полосы не подвергаются ни конденсации, ни разрежению.

Если мы введем полоску стекла ($s s'$, рис. 39) между скрещенными Николями, следя за тем, чтобы они были наклонены к направлениям вибрации Николов, и проводя влажной резиной по стеклу, можно ожидать, что произойдет вот что: в каждый момент сжатия будет проходить свет; в каждый момент напряжения свет также будет проходить; и эти состояния напряжения и давления будут следовать друг за другом так быстро, что мы можем ожидать, что в глазу будет создаваться постоянное световое впечатление. Таким образом, путем чистого рассуждения мы приходим к выводу, что свет будет оживать всякий раз, когда раздастся звон бокала. О том, что это так, свидетельствует эксперимент: при каждом взмахе резины (h , рис. 39) на экране вспыхивает тонкий светящийся диск (О). Эксперимент можно разнообразить следующим образом: поместив перед поляризатором пластинку из необожженного стекла, вы получите серию красиво окрашенных колец, пересеченных черным крестом. Каждый взмах резины не только устраняет кольца, но и вводит дополнительные, черный крест на данный момент заменен белым. Это модификация прекрасного эксперимента, которым мы обязаны Био. Однако его аппарат позволял наблюдать за ним только одному человеку одновременно.

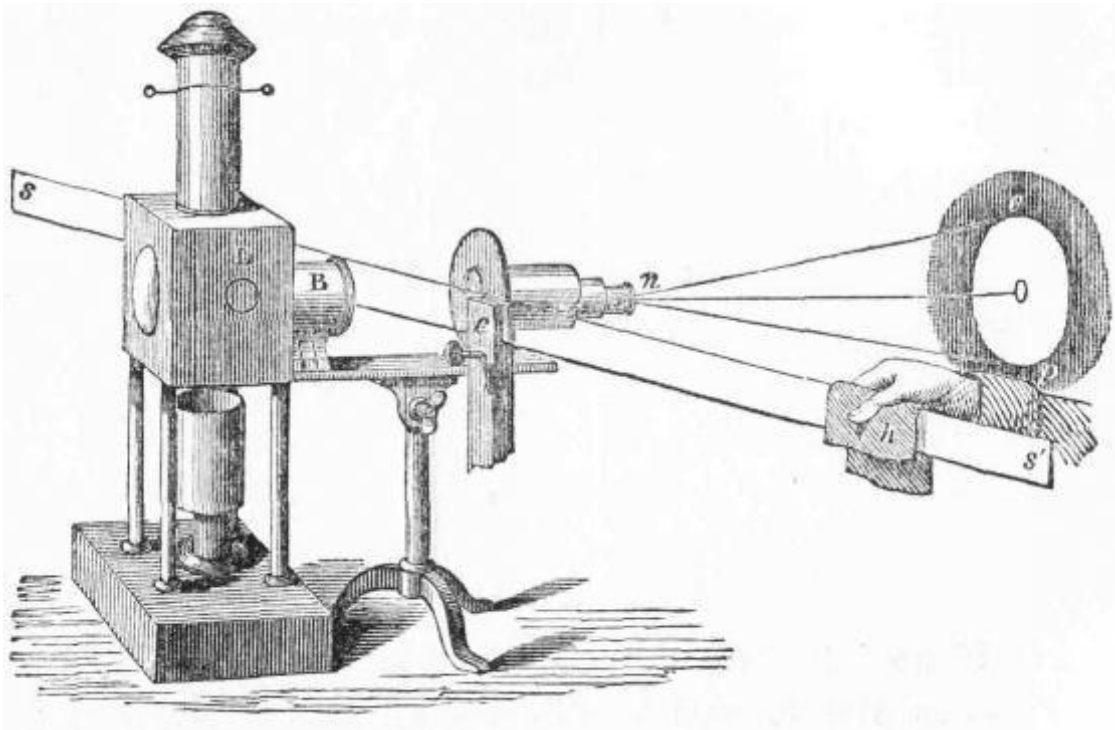


Рис. 39.

§ 5. Цвета необожженного стекла.

Тела обычно расширяются под действием тепла и сжимаются под действием холода. Если тепло подается с идеальной равномерностью, никаких локальных деформаций или давлений не возникает; но, если одна часть твердого вещества нагревается, а другая - нет, расширение нагретой части приводит к появлению деформаций и давлений, которые проявляются при исследовании поляризованным светом. Когда квадрат обычного оконного стекла помещается

между Николями, вы видите его тусклые очертания, но оно никак не влияет на поляризованный свет. Подержав на мгновение над пламенем спиртовки, при повторном включении ее между паузами Зажигания, на экране вспыхивает свет. Здесь, как и в случае механического воздействия, у вас есть светящиеся пространства напряжения, отделенные темными нейтральными осями от пространств давления.

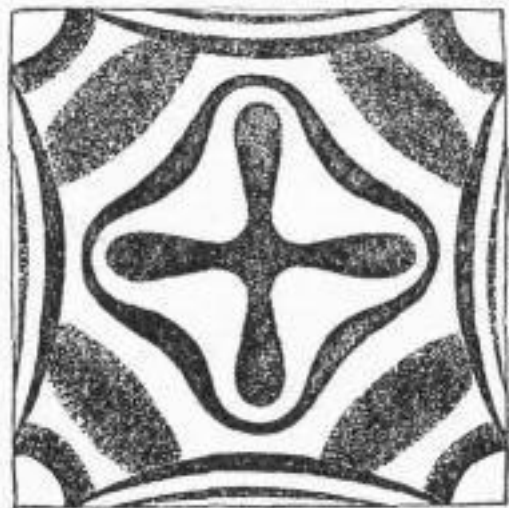


Рис. 40.

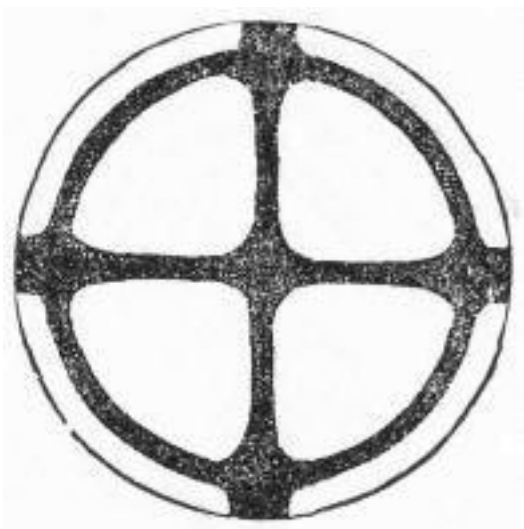


Рис. 41.

Давайте распределим тепло более симметрично. Небольшой стеклянный квадрат перфорируется в центре, а в отверстие вводится кусочек медной проволоки. Помещая квадрат между призмами и нагревая проволоку, тепло передается по проводимости к стеклу, через которое оно распространяется от центра наружу. Вы сразу же видите четыре светящихся квадранта и тусклый крест, который постепенно становится чернее по сравнению с соседним по яркости. И как в случае с давлением мы создавали цвета, так и здесь, при правильном применении тепла, могут быть созданы великолепные хроматические эффекты. Условия, необходимые для производства этих красок, можно сделать постоянными, сначала достаточно нагрев стекло, а затем охладив его, чтобы охлажденная масса оставалась в состоянии постоянной деформации и давления. Два или три примера проиллюстрируют этот момент. Рис. 40 и 41 представляют фигуры, полученные с помощью двух кусков стекла, приготовленных таким образом; два прямоугольных куска необожженного стекла, скрещенных и помещенных между

поляризатором и анализатором, демонстрируют красивую радужную кайму, представленную на фиг. 42.

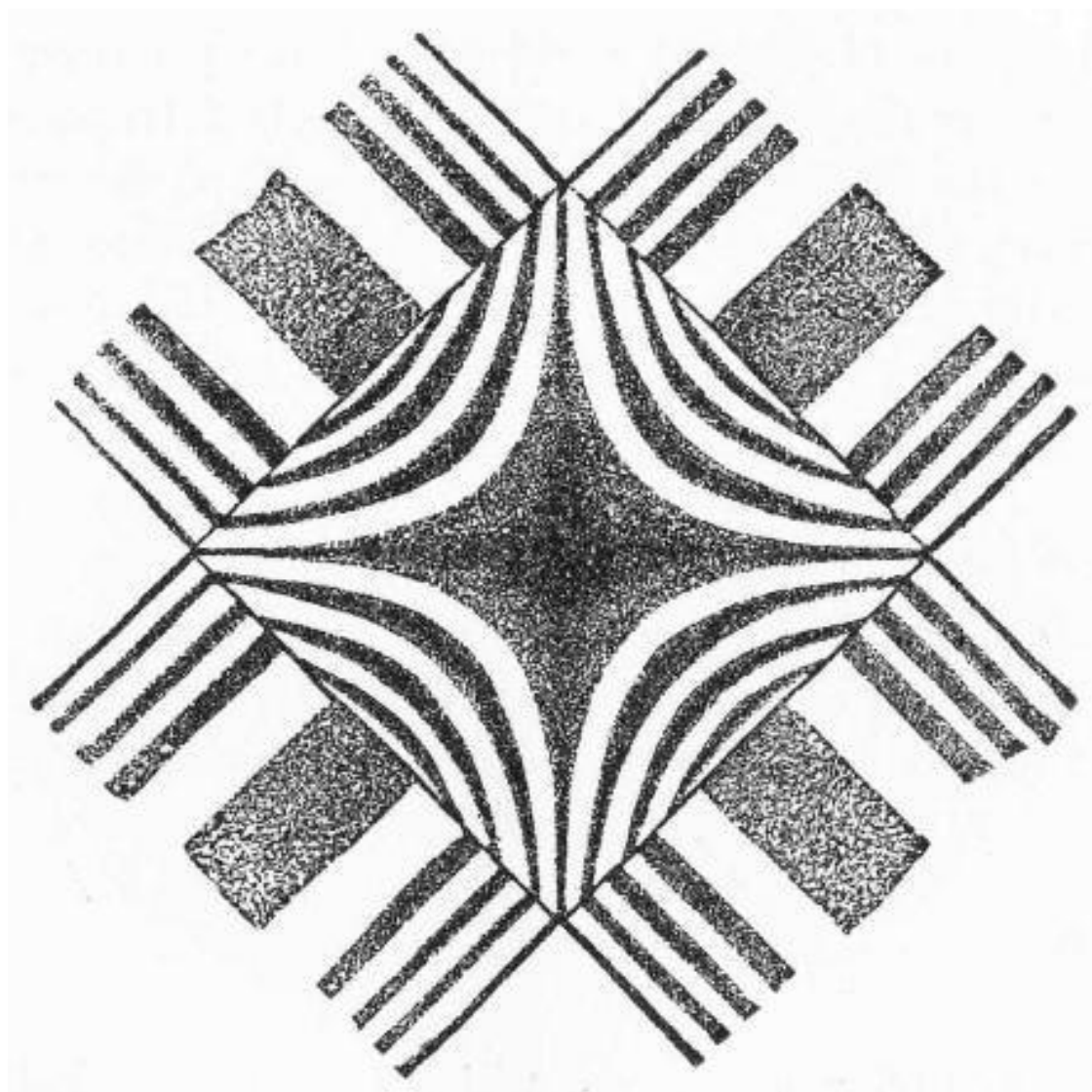


Рис. 42.

§ 6. Круговая поляризация.

Но мы должны следовать за эфиром еще дальше, в его тайники. Перед вами подвешен маятник, который, когда его отводят в сторону и освобождают, колеблется взад и вперед. Если, когда маятник проходит среднюю точку своего движения, я воздействую на него толчком, направляя его под прямым углом к его нынешнему курсу, что произойдет? Два импульса соединяются в вибрацию, направленную наклонно к первому, но маятник все еще колеблется *вплоскости*. Но если прямоугольный толчок передается маятнику, когда он находится на пределе своего колебания, то сочетание двух импульсов заставляет подвешенный шар описывать не прямую линию, а эллипс; и если толчок способен сам по себе вызывать вибрацию той же амплитуды, что и первый, эллипс становится кругом.

Почему я останавливаюсь на этих вещах? Просто чтобы показать вам сходство этих грубых механических колебаний с вибрациями света. Я держу в руке пластинку кварца, вырезанную из

кристалла перпендикулярно его оси. Ограненный таким образом кристалл обладает необычайной способностью искривлять плоскость колебаний поляризованного луча в степени, зависящей от толщины кристалла. И чем более преломляющий свет, тем больше величина искривления; так что, когда используется белый свет, составляющие его цвета, таким образом, разделяются. Помещая кварцевую пластинку между поляризатором и анализатором, появляется этот ярко-красный цвет; а поворачивая анализатор спереди справа налево, последовательно появляются другие цвета спектра. Были найдены образцы кварца, для получения одинаковой последовательности цветов в которых требуется поворачивать анализатор слева направо. Поэтому кристаллы первого класса называются правосторонними, а кристаллы второго класса - левосторонними.

С глубокой проницательностью Френель, чьему гению мы в основном обязаны распространением и окончательным триумфом волновой теории света, мысленно воспроизвел механизм этих кристаллов и показал, что их действие обусловлено тем обстоятельством, что в них волны эфира так воздействуют друг на друга, что создают состояние, представленное нашим вращающимся маятником. Вместо плоской поляризации свет в горном хрустале *поляризован по кругу*. Очевидно, что два таких луча, проходящие вдоль оси кристалла и вращающиеся в противоположных направлениях, при интерференции с анализатором способны вызывать все наблюдаемые явления.

§ 7. Дополнительные цвета двулучепреломляющего лонжерона в свете с круговой поляризацией. Доказательство того, что желтый и синий дополняют друг друга.

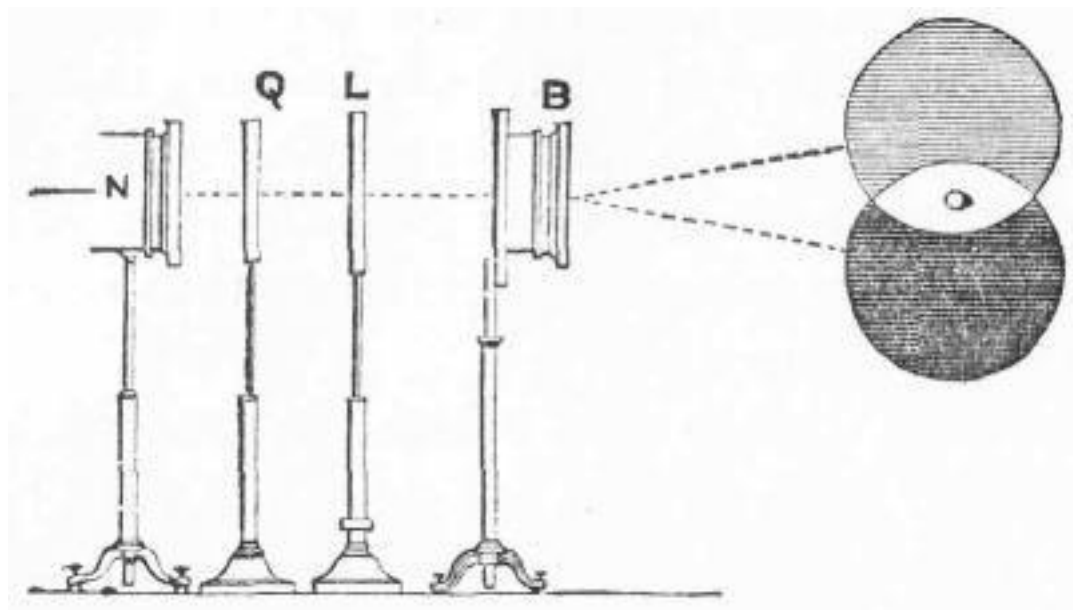


Рис. 43.

Теперь я убираю анализатор и кладу на его место кусок исландского шпата, с помощью которого мы уже проиллюстрировали двойное лучепреломление. Теперь перед вами два изображения углеродных точек, созданных, как вы знаете, двумя лучами, вибрирующими под прямым углом друг к другу. Поместив кварцевую пластину между поляризатором и стержнем, два изображения светятся взаимодополняющими цветами. Используя изображение отверстия вместо изображения угольных точек, мы получаем два цветных круга. При вращении

анализатора цвета претерпевают различные изменения, но они всегда дополняют друг друга. Когда один красный, другой зеленый; когда один желтый, другой синий. Здесь мы можем заново продемонстрировать утверждение, сделанное в нашей первой лекции, о том, что, хотя смесь синего и желтого пигментов дает зеленый цвет, смесь синего и желтого света дает белый. Увеличивая нашу диафрагму, мы заставляем два изображения, создаваемых лонжероном, приближаться друг к другу и, наконец, накладываться друг на друга. Одно изображение теперь ярко-желтого цвета, другое - ярко-синего, и вы замечаете, что там, где эти цвета накладываются друг на друга, мы получаем чистый белый. (Смотрите рис. 43, где N - конец поляризатора, Q - кварцевая пластина, L - линза и В - двулучепреломляющий стержень. Два изображения накладываются друг на друга в точке О и создают белый цвет за счет их смешения.)

§ 8. Намагничивание света.

Это подводит нас к пункту наших исследований, который, хотя и редко иллюстрируется в лекциях, тем не менее, с такой вероятностью окажет глубокое влияние на будущий ход научной мысли, что я не желаю оставлять его без ссылки. Я имею в виду эксперимент, который Фарадей, его первооткрыватель, назвал "намагничиванием света". Схема проведения этого знаменитого эксперимента сейчас перед вами. Сначала у нас есть электрическая лампа, затем призма Николя, поляризующая луч, исходящий от лампы; затем электромагнит, затем второй Николь и, наконец, наш экран. В данный момент призмы скрещены, и экран темный. Я помещаю от полюса к полюсу электромагнита цилиндр из особого вида стекла, впервые изготовленного Фарадеем и названного тяжелым стеклом Фарадея. Теперь через это стекло проходит луч от поляризатора, перехваченный никелем спереди. При возбуждении магнита на экране мгновенно появляется свет. Под действием магнита на тяжелое стекло происходит вращение плоскости вибрации, и таким образом свет проходит через анализатор.

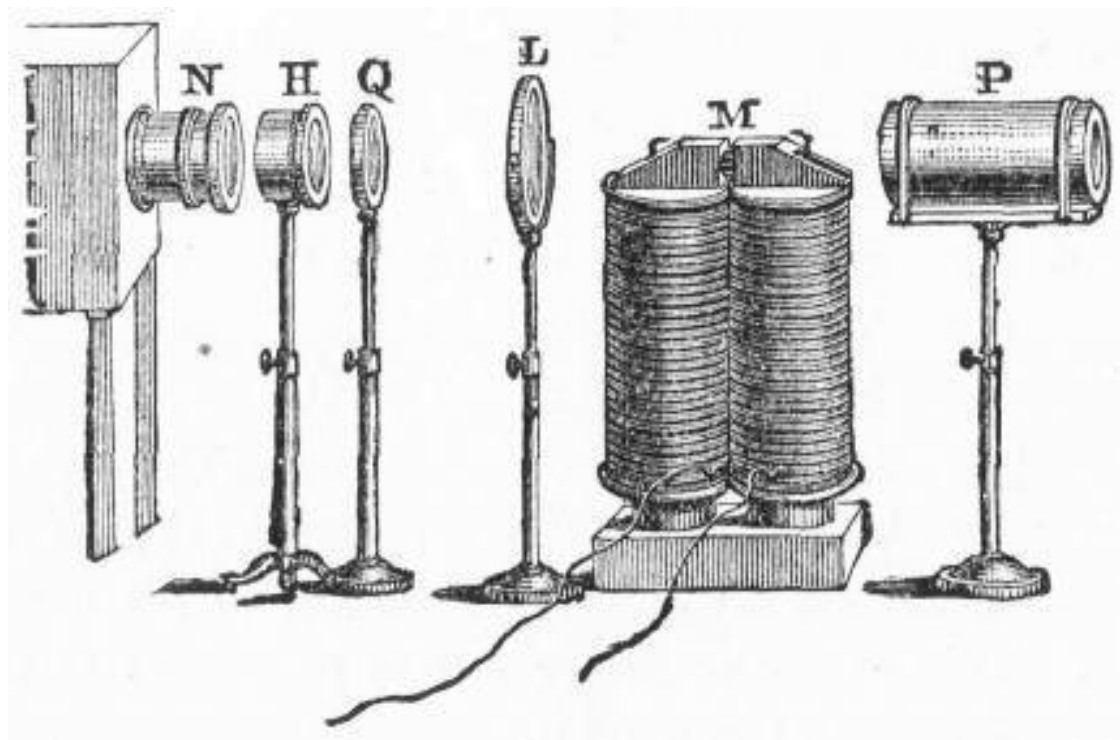


Рис. 44

Два класса, на которые делятся кристаллы кварца, уже упоминались. В руке я держу составную пластинку, одна половина которой взята из кристалла для правой руки, а другая - из кристалла для левой. Поместив пластинку перед поляризатором, я поворачиваю одну из линз Nicol до тех пор, пока две половинки пластины не приобретут обычный красно-коричневый цвет. Это дает чрезвычайно чувствительное средство для визуализации действия магнита на свет. При повороте поляризатора или анализатора на наименьший угол однородность цвета исчезает, и две половинки кварца приобретают разные цвета. Магнит производит эффект, эквивалентный этому вращению. Теперь перед вами на экране круг темно-красного цвета. (Смотрите рис. 44, где N - сопло лампы, H - первый Nicol, Q - пластина бикварца, L - линза, M - электромагнит с тяжелым стеклом поперек его перфорированных полюсов и P - второй Nicol.) При возбуждении магнита одна половина изображения внезапно становится красной, а другая - зеленой. При прерывании подачи тока оба цвета исчезают, и восстанавливается первоначальный пурпурный цвет.

Действие, кроме того, зависит от полярности магнита, или, другими словами, от направления тока, который окружает магнит. Изменив направление тока, красный и зеленый цвета появляются снова, но они поменялись местами. Раньше красный был справа, а зеленый - слева; теперь зеленый - справа, а красный - слева. С величайшей изобретательностью Фарадей проанализировал все эти действия и сформулировал их законы. Однако этот эксперимент долгое время оставался скорее научным курьезом, чем плодотворным зародышем. Фарадей был глубоко убежден в том, что это принесет плоды высочайшей важности, и нынешние исследования находятся на пути к подтверждению его убежденности.

§ 9. Радужные кольца, окружающие оси кристаллов.

Необходимо сказать еще несколько слов, чтобы дополнить наши знания об удивительном взаимодействии между весомыми молекулами и смешанным между ними эфиром. Симметрия молекулярного расположения подразумевает симметрию со стороны эфира; атомная диссимметрия, с другой стороны, включает в себя диссимметрию эфира и, как следствие, двойное лучепреломление. У определенного класса кристаллов структура однородна, и такие кристаллы не дают двойного преломления. В некоторых других кристаллах молекулы расположены симметрично вокруг определенной линии, а не вокруг других. Следовательно, вдоль первого луч неразделен, в то время как вдоль всех остальных мы имеем двойное преломление. Лед - знакомый пример: его молекулы построены с идеальной симметрией вокруг перпендикуляров к плоскостям замерзания, и луч, проходящий через лед в этом направлении, не преломляется дважды, тогда как во всех других направлениях преломляется. Исландский шпат - еще один пример того же рода: его молекулы построены симметрично вокруг линии, соединяющей два тупых угла ромба. В этом направлении луч не испытывает двойного преломления, в отличие от всех остальных. Это направление отсутствия двойного преломления называется *оптической осью* кристалла.

Следовательно, если пластинку вырезать из кристалла исландского шпата перпендикулярно оси, то все лучи, проходящие через эту пластинку в направлении оси, будут давать только одно изображение. Но в тот момент, когда мы отклоняемся от параллельности оси, возникает двойное преломление. Следовательно, если луч, получивший *коническую* форму с помощью сходящейся линзы, направить через лонжерон так, чтобы центральный луч конуса проходил вдоль оси, то только этот луч избежит двойного преломления. Каждый из остальных лучей будет

разделен на обычный и экстраординарный, причем один движется через кристалл медленнее, чем другой; следовательно, один замедляется по отношению к другому. Таким образом, здесь мы имеем условия для интерференции, когда волны сводятся анализатором к общей плоскости.

Поместив пластину исландского шпата между скрещенными призмами Николя и используя конический луч, мы видим на экране красивую систему колец радужки, окружающих конец оптической оси, при этом круглые цветные полосы пересекаются черным крестом (рис. 45). Плечи этой перекладины параллельны двум направлениям вибрации в поляризаторе и анализаторе. Легко видеть, что те лучи, плоскости колебаний которых внутри стержня совпадают с плоскостями колебаний *любой* призмы, не могут пройти через обе. Этот полный перехват создает руки креста.

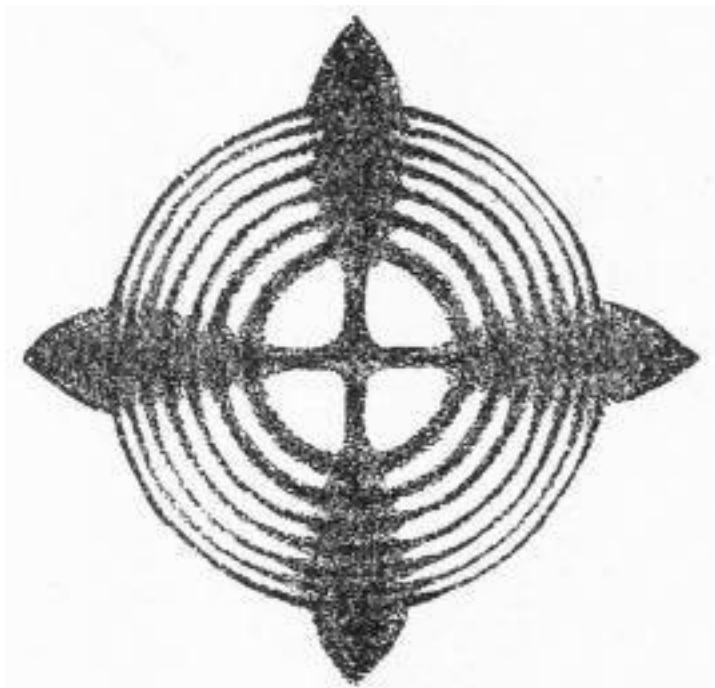


Рис. 45.

При монохроматическом освещении кольца были бы просто яркими и черными — яркие кольца возникали бы при тех толщинах лонжерона, которые заставляют лучи сговариваться; черные кольца - при тех толщинах, которые заставляют их гасить друг друга. Поворачивая анализатор на 90° , мы получаем дополнительные явления. Черный крест сменяется ярким, и каждое темное кольцо также заменяется ярким (рис. 46). Здесь, как и везде, разная длина световых волн создает оттенки радужки при использовании белого света.



Рис. 46.

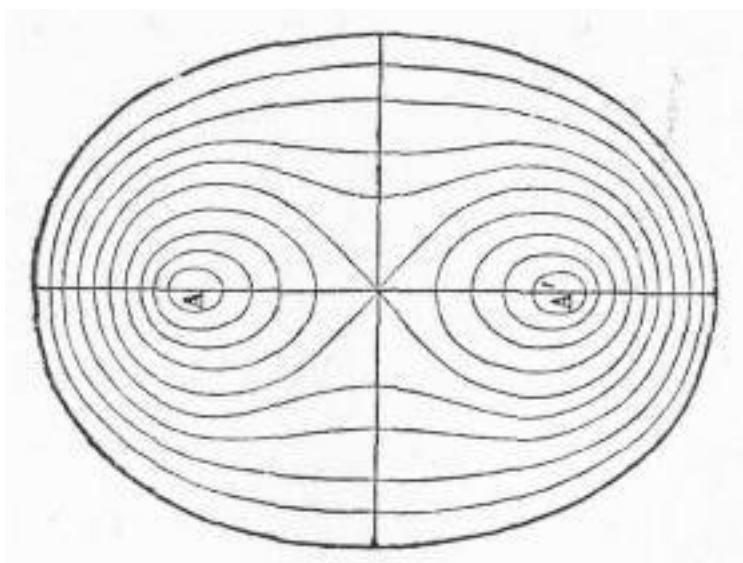


Рис. 47.

Помимо *правильных* кристаллов, которые не дают двойного преломления ни в одном направлении, и *одноосных* кристаллов, которые дают его во всех направлениях, кроме одного, Брюстер обнаружил, что в большом классе кристаллов есть *два* направления, в которых двойного преломления не происходит. Они называются *биаксиальными* кристаллами. Когда пластины из этих кристаллов, соответствующим образом ограненных, помещают между поляризатором и анализатором, оси (AA' , рис. 47) видны окруженными не кругами, а кривыми другого порядка и совершенно определенного математического характера. Каждая полоса, как экспериментально доказал Гершель, образует *лемнискату*; но экспериментальному доказательству здесь, как и во множестве других случаев, предшествовал вывод, который показал, что, согласно волновой теории, полосы должны обладать этим особым характером.

§ 10. Сила волновой теории.

Я применил этот несколько широкий диапазон к самой поляризации и к явлениям, проявляемым кристаллами в поляризованном свете, чтобы дать вам некоторое представление о твердости и полноте теории, которая охватывает их все. Исходя из единственного предположения о поперечных колебаниях, мы прежде всего определяем длины волн и

обнаруживаем, что от них зависят все явления цвета. Длины волн могут быть определены многими независимыми способами. Ньютон фактически определил их, когда измерил периоды своих припадков: продолжительность припадков, по сути, равна четверти волны. Длины волн могут быть определены с помощью дифракции на краях щели (как в Приложении к этим Лекциям); они могут быть выведены из интерференционных полос, создаваемых отражением; из полос, создаваемых преломлением; также по линиям, проведенным ромб на стекле на измеренных расстояниях друг от друга. И когда длина, определенная этими независимыми методами, сравнивается вместе, обнаруживается, что между ними существует самое строгое соответствие.

Имея в своем распоряжении длины волн, мы следуем за эфиром в самых сложных случаях взаимодействия между ним и обычной материей", - говорит теория, равная им всем. Он не выдвигает ни одной новой физической гипотезы; но из своего первоначального набора принципов он выявляет аналоги всему, что показывает наблюдение. Он объясняет, упрощает наиболее запутанные случаи; исправляет известные законы и факты; предсказывает и раскрывает неизвестные; становится проводником Наблюдения своего бывшего учителя; и, просвещенный механическими концепциями, приобретает понимание, которое проникает сквозь форму и цвет к силе и причинности.'[\[18\]](#)

Но, хотя я таким образом попытался проиллюстрировать перед вами силу волновой теории как средства решения всех трудностей оптики, хочу ли я поэтому, чтобы вы закрыли глаза на любые доказательства, которые могут возникнуть против нее? Ни в коем случае. Вы можете настаивать, и справедливо настаиваете, что сто лет назад самые выдающиеся люди придерживались другой теории, и что, поскольку теория, которой придерживались тогда, должна была уступить, возможно, придется уступить и волновой теории. Это кажется разумным; но давайте поймем точную ценность этого аргумента. Подобным образом человек во времена Ньютона или даже в наше время мог бы рассуждать следующим образом: Гиппарх и Птолемей, а также ряд великих людей после них, верили, что земля является центром солнечной системы. Но это глубоко укоренившееся теоретическое представление должно было уступить место, и гелиоцентрическая теория, возможно, в свою очередь, тоже должна уступить. Это так же разумно, как и первый аргумент. В чем заключается сила современной теории тяготения? Исключительно в ее компетенции объяснять все явления солнечной системы. В чем заключается сила теории колебаний? Исключительно в его компетенции распутывать и объяснять явления, в сто раз более сложные, чем явления солнечной системы. Примите, если хотите, скептицизм мистера Милля[\[19\]](#) в отношении волновой теории; но если ваш скептицизм философский, он подвергнет теорию тяготения такому же или большему сомнению.[\[20\]](#)

§ 11. Синевая неба.

Я не желаю останавливаться на этих хроматических явлениях, не обратившись к источнику цвета, который в последнее время часто предстает передо мной в голубизне ваших небес в полдень и в глубоком багрянце вашего горизонта после захода солнца. Здесь я обобщу и расширю то, что я уже говорил в другом месте по этому вопросу. Можно привести доказательства наиболее убедительного описания, чтобы показать, что голубой свет небосвода - это отраженный свет. Этот свет приходит к нам поперек направления солнечных лучей и даже против направления солнечных лучей; и этот боковой и встречный порыв волнового движения может быть вызван только отражением волн от самого воздуха или от чего-то подвешенного в

воздухе. Более того, солнечный свет не рассеивается небом в пропорциях, которые создают белый цвет. Небо голубое, что указывает на избыток меньших волн. Голубизна воздуха была названа причиной голубизны неба; но тогда возникает вопрос, как, если воздух голубой, может свет восхода и захода солнца, который распространяется по воздуху на огромные расстояния, быть желтым, оранжевым или даже красным? Прохождение белого солнечного света через голубую среду ни в коем случае не могло бы сделать свет красным; следовательно, гипотеза о голубой атмосфере несостоятельна. Фактически, агент, каким бы он ни был, который посылает нам небесный свет, осуществляет при этом дихроитическое действие. Отраженный свет синий, проходящий - оранжевый или красный, таким образом, наблюдается заметное различие между отражением от неба и от обычного облака, которое не оказывает такого дихроитического действия.

Облако, по сути, не обращает внимания на размер эфирных волн, но отражает их все одинаково. Теперь причина этого может заключаться в том, что частицы облака настолько велики по сравнению с размером волн эфира, что рассеивают их все безразлично. Широкий утес отражает атлантический вал так же легко, как он отражает рябь, создаваемую крылом морской птицы; и при наличии больших отражающих поверхностей существующие различия в величине эфирных волн также могут исчезнуть. Но предположим, что отражающие частицы не очень велики, а очень малы по сравнению с размером волн. Тогда вместо того, чтобы вся волна поднимается вперед и в значительной степени отбрасывается назад, препятствие отбрасывает только небольшую часть. Предположим, тогда, что такие мельчайшие инородные частицы рассеяны в нашей атмосфере. На них падают волны всех размеров, и при каждом столкновении часть падающей волны отбивается. Таким образом воздействуются на все волны спектра, от ярко-красных до ярко-фиолетовых; но в каких пропорциях они будут рассеяны? Величина зависит от соотношения; и чем меньше волна, тем больше относительный размер любой частицы, на которую падает волна, и тем больше также относительное отражение.

Маленький камешек, помещенный на пути кольцевой ряби, создаваемой тяжелыми каплями дождя на спокойном пруду, будет отбрасывать большую часть каждой падающей на него ряби, в то время как доля большей волны, отбрасываемой тем же камешком, может быть бесконечно малой. Теперь, чтобы сохранить солнечный свет белым, составляющие его пропорции не должны изменяться; но при рассеянии света этими очень маленькими частицами мы видим, что пропорции *изменяются*. Волны меньшего размера находятся в избытке, и, как следствие, в рассеянном свете преобладающим цветом будет голубой. Другие цвета спектра должны в какой-то степени ассоциироваться с синим: они не отсутствуют, но их недостаточно. На самом деле мы должны иметь их все, но в уменьшающихся пропорциях, от фиолетового к красному.

Таким образом, мы пришли к выводу, что если бы частицы, небольшие по сравнению с размером эфирных волн, были посеяны в нашей атмосфере, то свет, рассеиваемый этими частицами, был бы точно таким, какой мы наблюдаем в нашем лазурном небе. И действительно, когда этот свет анализируется, все цвета спектра обнаруживаются в пропорциях, указанных в нашем заключении.

В результате последовательных столкновений с частицами белый свет все больше и больше лишается своих более коротких волн; следовательно, он все больше и больше теряет должную долю синего. Результат можно предвидеть. Проходящий свет на умеренных расстояниях будет казаться желтоватым. Но по мере того, как солнце опускается к горизонту, расстояние до

атмосферы увеличивается, а следовательно, и количество рассеивающих частиц. Они последовательно ослабляют фиолетовый, индиго, синий и даже нарушают пропорции зеленого. Проходящий свет при таких обстоятельствах должен переходить от желтого к оранжевому и красному. Это также именно то, что мы находим в природе. Таким образом, в то время как отраженный свет дает нам в полдень глубокую лазурь альпийского неба, проходящий свет дает нам на закате теплый багрянец альпийских снегов.

Но можно ли действительно доказать, что мелкие частицы действуют указанным образом? В этом нет сомнений. Каждый из вас может подвергнуть этот вопрос экспериментальной проверке. Вода не растворит смолу, но спирт растворит; и когда спирт, удерживающий смолу в растворе, опускают в воду, смола немедленно разделяется на твердые частицы, которые придают воде молочный оттенок. Крупность этого осадка зависит от количества растворенной смолы. Профессор Брюкке дал нам пропорции, при которых образуются частицы, особенно подходящие для нашей нынешней цели. Один грамм чистой мастики растворяют в восьмидесяти семи граммах абсолютного спирта, и прозрачный раствор капают в мензурку с чистой водой при быстром перемешивании. Таким образом, образуется чрезвычайно мелкий осадок, который заявляет о своем присутствии по воздействию на свет. Поместив темную поверхность за мензуркой и позволив свету падать в нее сверху или спереди, можно увидеть, что среда очень светлого небесно-голубого цвета. Немного мыла в воде придает ему голубой оттенок. Лондонское молоко приближается к тому же цвету благодаря действию той же причины: и Гельмгольц непочтительно раскрыл тот факт, что голубой глаз - это просто мутная среда.

§ 12. Искусственное небо.

Но в наших силах гораздо точнее воспроизвести естественные условия решения этой проблемы. Мы можем создать в воздухе искусственное небо и доказать его совершенную идентичность с естественным в том, что касается проявления ряда совершенно неожиданных явлений. Недавно мною было показано на большом количестве примеров, что волны эфира, исходящие от сильного источника, такого как солнце или электрический свет, способны раскалывать атомы газообразных молекул. Устройство, используемое для иллюстрации этого, состоит из стеклянной трубки длиной около ярда и внутренним диаметром от 2½ до 3 дюймов. Газ или пар, подлежащий исследованию, вводится в эту трубку, и на него воздействует конденсированный луч электрической лампы. Пары подбираются таким образом, чтобы по крайней мере один из продуктов их разложения, как только он образуется, осаждался в виде облака. Путем дозирования количества пара это осаждение может быть любой степени измельчения, образуя частицы, различимые невооруженным глазом, или частицы, которые, вероятно, находятся далеко за пределами досягаемости наших самых высоких микроскопических способностей. У меня нет причин сомневаться в том, что таким образом могут быть получены частицы, диаметр которых составляет лишь очень малую долю длины волны фиолетового света.

Итак, во всех подобных случаях, когда используются подходящие пары в достаточно разреженном состоянии, независимо от того, что это за пары, видимое действие начинается с образования *голубого облака*. Позвольте мне с самого начала предостеречь себя от любых неправильных представлений относительно использования этого термина. Голубое облако, о котором здесь идет речь, совершенно невидимо при обычном дневном свете. Чтобы быть

увиденным, его нужно окружить темнотой, *его можно только* осветить мощным лучом света. Это облако отличается многими важными особенностями от тончайших обычных облаков, и, возможно, ему справедливо было бы приписать промежуточное положение между этими облаками и истинно безоблачным паром.

Можно заставить частицы этого *актиноческого облака* вырасти с бесконечно малого и вовсе ультрамикроскопического размера до частиц ощутимой величины; и с помощью них на определенной стадии их роста мы получаем синеву, которая соперничает, если не превосходит, с синевой самого глубокого и чистого итальянского неба. Вводя в нашу трубку количество смешанного воздуха и нитрита паров бутила, достаточное для понижения ртутного столба воздушного насоса на одну двадцатую дюйма, добавляя количество воздуха и соляной кислоты, достаточное для дальнейшего понижения ртутного столба на полдюйма, и пропуская через эту сложную и сильно разреженную атмосферу луч электрического света, внутри трубки постепенно возникает великолепная лазурь, которая на некоторое время усиливается, достигает максимальной глубины и чистоты, а затем, по мере увеличения размеров частиц, переходит в беловато-голубой. Этот эксперимент является репрезентативным и иллюстрирует общий принцип. Для этого эксперимента могут быть использованы различные другие бесцветные вещества с самыми разнообразными свойствами, оптическими и химическими. *Зарождающееся облаков* любом случае демонстрировало бы этот превосходный синий цвет; таким образом, доказывая, что частицы бесконечно малого размера, не имеющие собственного цвета и независимо от оптических свойств, проявляемых веществом в массивном состоянии, способны создавать голубой цвет неба.

§ 13. Поляризация светового люка в крыше.

Но есть еще один предмет, связанный с нашим небесным сводом, более тонкого и загадочного характера, чем даже его цвет. Я имею в виду "таинственное и прекрасное явление", как называет его сэр Джон Гершель, - поляризацию небесного света. Рассматривая различные точки голубого небосвода через призму Никола и поворачивая призму вокруг своей оси, мы вскоре замечаем изменения яркости. При определенных положениях призмы и из определенных точек небесного свода кажется, что свет проходит полностью, в то время как необходимо только повернуть призму вокруг своей оси на угол в девяносто градусов, чтобы существенно уменьшить интенсивность света. Эксперименты такого рода доказывают, что синий свет, посылаемый нам небесным сводом, поляризован, и при внимательном рассмотрении также обнаруживается, что направление наиболее совершенной поляризации перпендикулярно солнечным лучам. Если бы небесная лазурь была подобна обычному солнечному свету, вращение призмы не оказало бы на нее никакого влияния; она передавалась бы одинаково в течение всего вращения призмы. Небесный свет может быть в значительной степени погашен, потому что он в значительной степени поляризован.

То же самое явление в совершенстве демонстрируют наши актиноческие облака, единственным условием, необходимым для его создания, является малость частиц. Во всех случаях и со всеми веществами облако, образующееся в начале, когда осажденные частицы достаточно мелки, является *синим*. Более того, во всех случаях это тонкое голубое облако *идеально* поляризует освещающий его луч, причем направление поляризации составляет угол 90° с осью освещающего луча.

Чрезвычайно интересно наблюдать как рост, так и затухание этой поляризации. В течение десяти-пятнадцати минут после его первого появления свет отярко освещенного зарождающегося облака, если смотреть горизонтально, полностью гасится призмой Николя с ее более длинной диагональной вертикалью. Но по мере того, как небесно-голубой цвет постепенно становится нечистым из-за попадания частиц слишком большого размера, другими словами, когда начинают формироваться настоящие облака, поляризация начинает ухудшаться, часть света проходит через призму во всех ее положениях, как это происходит в случае светового люка в крыше. Стоит отметить, что в течение некоторого времени после прекращения идеальной поляризации *остаточный* свет, который проходит, когда Nicol находится в положении минимального пропускания, имеет великолепный синий цвет, более белый свет облака гаснет. Когда текстура облаков становится достаточно грубой, чтобы приблизиться к текстуре обычных облаков, вращение Nicol перестает оказывать какое-либо ощутимое влияние на свет, излучаемый под прямым углом к лучу.

Совершенство поляризации в направлении, перпендикулярном освещающему лучу, может быть также проиллюстрировано следующим экспериментом, который был проведен со многими парами. Призма Николя, достаточно большая, чтобы охватить весь луч электрической лампы, была помещена между лампой и экспериментальной пробиркой. Направив луч, поляризованный Nicol, через трубку, я встал перед ней так, чтобы глаза были на одном уровне с ее осью, а мой ассистент занял аналогичное положение позади трубки. Короткая диагональ большого Никеля была в первую очередь вертикальной, следовательно, плоскость колебаний возникающей балки также была вертикальной. По мере того как свет продолжал действовать, медленно формировалось великолепное голубое облако, видимое как моему ассистенту, так и мне. Но это облако, такое глубокое и насыщенное, если смотреть с упомянутых позиций, совершенно исчезало, если смотреть вертикально вниз или вертикально вверх. Отражение от облака в этих направлениях было невозможно. Когда большой Николь медленно поворачивался вокруг своей оси, при этом глаз наблюдателя находился на уровне луча, а линия обзора была перпендикулярна к нему, полное исчезновение света, излучаемого горизонтально, происходило, когда более длинная диагональ большого Никеля была вертикальной. Но ярко-голубое облако было видно, если смотреть вниз или вверх. Этот поистине прекрасный эксперимент, который я, несомненно, провел бы без внушения, был, по сути, впервые определенно предложен замечанием, адресованным мне в письме профессором Стоксом.

Все явления цвета и поляризации, наблюдаемые в случае светового люка, проявляются в этих актинических облаках; и они демонстрируют дополнительные явления, которые было бы неудобно отслеживать и, возможно, невозможно обнаружить на реальном небосводе. Они позволяют нам, например, проследить за поляризацией от ее первого появления на едва видимом голубом фоне до окончательного исчезновения в более грубом облаке. Эти изменения, насколько сейчас необходимо сослаться на них, можно резюмировать следующим образом:—

1. Актиническое облако, пока оно остается синим, излучает поляризованный свет во всех направлениях, но направление максимальной поляризации, как и у светового люка, находится под прямым углом к направлению освещающего луча.
2. Пока облако остается отчетливо голубым, свет, исходящий от него под прямым углом к освещающему лучу, *идеально* поляризован. Он может быть полностью подавлен призмой

Николя, при этом облако, из которого он исходит, исчезает. Любое отклонение от перпендикуляра позволяет части света проходить через призму.

3. Направление вибрации поляризованного света находится под прямым углом к освещающему лучу. Следовательно, пластина из турмалина, ось которой параллельна лучу, останавливает свет, а ось, перпендикулярная лучу, пропускает свет.

4. Пластина из селенита, помещенная между Nicol и актиническим облаком, показывает цвета поляризованного света; фактически, само облако играет роль поляризующего Nicol.

5. Частицы голубого облака неизмеримо малы, но они постепенно увеличиваются в размерах и в определенный период своего роста перестают излучать идеально поляризованный свет. В течение некоторого времени после этого свет, достигающий глаза через Николь в месте наименьшего пропускания, имеет великолепный голубой цвет, намного превосходящий по глубине и чистоте свет самого чистого неба; таким образом, волны, которые первыми ощущают влияние размера на обеих границах поляризации, являются самыми короткими волнами спектра. Они первыми принимают поляризацию и первыми избегают ее.

ЛЕКЦИЯ V.

ДАЛЬНОСТЬ ОБЗОРА, НЕСОИЗМЕРИМАЯ С ДАЛЬНОСТЬЮ ИЗЛУЧЕНИЯ

УЛЬТРАФИОЛЕТОВЫЕ ЛУЧИ

ФЛУОРЕСЦЕНЦИЯ

ПРЕВРАЩЕНИЕ НЕВИДИМЫХ ЛУЧЕЙ В ВИДИМЫЕ

ЗРЕНИЕ - НЕ ЕДИНСТВЕННОЕ ЧУВСТВО, К КОТОРОМУ АПЕЛЛИРУЮТ СОЛНЕЧНЫЕ И ЭЛЕКТРИЧЕСКИЕ ЛУЧИ

ТЕПЛОТА ЛУЧА

СГОРАНИЕ ВСЕГО ЛУЧА В ФОКУСАХ ЗЕРКАЛ И ЛИНЗ

СГОРАНИЕ ЧЕРЕЗ ЛЕДЯНЫЕ ЛИНЗЫ

ВОСПЛАМЕНЕНИЕ АЛМАЗА

ПОИСК ЛУЧЕЙ ЗДЕСЬ ЭФФЕКТИВЕН

ОТКРЫТИЕ СЭРОМ УИЛЬЯМОМ ГЕРШЕЛЕМ ТЕМНЫХ СОЛНЕЧНЫХ ЛУЧЕЙ

НЕВИДИМЫЕ ЛУЧИ - ОСНОВА ВИДИМОГО

ОТДЕЛЕНИЯ ФИЛЬТРОМ НЕВИДИМЫХ ЛУЧЕЙ ОТ ВИДИМОГО

СГОРАНИЕ ПРИ ТЕМНЫХ ОЧАГАХ

ПРЕОБРАЗОВАНИЕ ТЕПЛОВЫХ ЛУЧЕЙ В СВЕТОВЫЕ

ТЕПЛОТЫДЕЛЕНИЕ

РОЛЬ, КОТОРУЮ ИГРАЮТ В ПРИРОДЕ ТЕМНЫЕ ЛУЧИ

ИДЕНТИЧНОСТЬ СВЕТА И ЛУЧИСТОГО ТЕПЛА

НЕВИДИМЫЕ ИЗОБРАЖЕНИЯ

ОТРАЖЕНИЕ, ПРЕЛОМЛЕНИЕ, ПЛОСКАЯ ПОЛЯРИЗАЦИЯ, ДЕПОЛЯРИЗАЦИЯ, КРУГОВАЯ

ПОЛЯРИЗАЦИЯ, ДВОЙНОЕ ПРЕЛОМЛЕНИЕ И НАМАГНИЧИВАНИЕ ЛУЧИСТОГО ТЕПЛА.

§ 1. *Дальность обзора и излучения.*

Первый вопрос, который мы должны рассмотреть сегодня вечером, заключается в следующем: соизмерим ли глаз как орган зрения со всем диапазоном солнечной радиации — способен ли он получать зрительные впечатления от всех лучей, испускаемых солнцем? Ответ отрицательный. Если бы мы позволили себе на мгновение принять идею постепенного роста, улучшения и вознесения, подразумеваемую термином "эволюция", мы могли бы справедливо заключить, что человека ожидают запасы зрительных впечатлений, гораздо большие, чем те, которыми он располагает сейчас. Риттер обнаружил в 1801 году, что за пределами крайней фиолетовой части спектра существует огромный поток лучей, которые совершенно бесполезны с точки зрения нашей нынешней способности зрения. Эти ультрафиолетовые волны, однако, хотя и неспособны пробудить зрительный нерв, могут раздробить молекулы определенных сложных веществ, на которые они воздействуют, вызывая таким образом химическое разложение.

Но хотя синие, фиолетовые и ультрафиолетовые лучи могут действовать таким образом на определенные вещества, этого факта едва ли достаточно, чтобы дать им право на название "химические лучи", которое обычно применяется для отличия их от других составляющих спектра. Что касается их действия на соли серебра и многие другие вещества, то они, возможно, заслуживают этого названия; но в случае с величайшим примером химического действия света — разложением углекислоты в листьях растений, с которым мой выдающийся друг доктор Дрейпер (ныне покойный) столь неразрывно связал свое имя, — желтые лучи оказываются наиболее активными.

Однако существуют вещества, на которые фиолетовые и ультрафиолетовые волны оказывают особое разрушающее действие; и, позволяя невидимому спектру падать на поверхности, подготовленные такими веществами, мы раскрываем как существование, так и протяженность ультрафиолетового спектра.

§ 2. *Ультрафиолетовые лучи: флуоресценция.*

Метод демонстрации действия ультрафиолетовых лучей посредством их химического воздействия давно известен; действительно, Томас Янг сфотографировал ультрафиолетовые кольца Ньютона. Теперь мы должны продемонстрировать их присутствие другим способом. Как правило, тела либо пропускают свет, либо поглощают его; но есть и третий случай, когда свет, падающий на тело, не передается и не поглощается, а преобразуется в свет другого рода. Профессор Стоукс, заведующий кафедрой Ньютона в Кембриджском университете, продемонстрировал это превращение одного вида света в другой и продвинул свои эксперименты так далеко, что невидимые лучи стали видимыми.

Было доказано, что большое количество веществ, исследованных Стоксом, при возбуждении невидимыми ультрафиолетовыми волнами излучают свет. Вы знаете частоту вибрации, соответствующую крайнему фиолетовому цвету спектра; вы знаете, что для создания впечатления от этого цвета на сетчатку воздействуют 789 миллионов миллионов раз в секунду. На этом этапе сетчатка перестает быть полезной как орган зрения, поскольку, хотя на нее и воздействуют волны с более быстрым повторением, они неспособны пробудить ощущение

света. Но когда такие невизуальные волны воздействуют на молекулы определенных веществ - например, на молекулы сульфата хинина, — они заставляют эти молекулы или составляющие их атомы вибрировать; и особенность заключается в том, что создаваемые таким образом колебания имеют *более медленный период*, чем у волн возбуждения. Благодаря такому снижению частоты вибрации при посредничестве сульфата хинина невидимые лучи попадают в поле зрения. Впоследствии у нас будет масса возможностей узнать, что прозрачность для видимого ни в коем случае не предполагает прозрачности для невидимых лучей. Наш бисульфид углерода, например, который, применяемый в призмах, так в высшей степени подходит для экспериментов со зрительными лучами, ни в коем случае не так подходит для этих ультрафиолетовых лучей. Кремневое стекло лучше, а горный хрусталь лучше кремневого стекла. Однако для нашей настоящей цели подойдет стеклянная призма.

Отбрасывая с помощью такой призмы спектр не на белую поверхность нашего экрана, а на лист бумаги, который был смочен насыщенным раствором сульфата хинина и затем высушен, обнаруживается очевидное расширение спектра. В первом случае часть фиолетового цвета становится белее и ярче; но, помимо этого, мы имеем отблеск цвета, в то время как на неподготовленной бумаге ничего не видно. Другие вещества производят аналогичный эффект. Например, вещество, недавно открытое президентом Мортонем и названное им *талленом*, производит очень поразительное удлинение спектра, при этом генерируемый новый свет обладает особой яркостью.

Плавиковый шпат и некоторые другие вещества при нагревании до температуры, все еще находящейся в состоянии покраснения, излучают свет. В течение веков, прошедших с момента их образования, эти вещества, по-видимому, обладали способностью сотрясать эфир, вызывая зрительную дрожь. Все это время в них присутствовал потенциал света; и, как хорошо объяснил Дрейпер, тепло, хотя само по себе не обладает визуальной интенсивностью, может высвободить молекулы, позволяя им проявлять свою давно скрытую способность к вибрации. Это свойство флуоресцентного шпата определило выбор Стоксом названия для своего великого открытия: он назвал эту видимость ультрафиолетовых лучей *флуоресценцией*.

С помощью стекла глубокого фиолетового цвета мы отсекаем почти весь свет нашего электрического луча; но это стекло особенно прозрачно для фиолетовых и ультрафиолетовых лучей. Фиолетовый луч теперь пересекает большую банку, наполненную водой, в которую я наливаю раствор сульфата хинина. Облака, на первый взгляд непрозрачные, мгновенно опускаются вниз. Осколки коры конского каштана, брошенные в воду, также создают красивые облачные завесы. Но это не облака: здесь ничего не осаждается: наблюдаемое действие - это действие *молекул*, а не *частиц*. Среда, находящаяся перед вами, не является мутной средой, потому что, когда вы смотрите сквозь нее на светящуюся поверхность, она совершенно прозрачна.

Если мы нарисуем на листе бумаги цветок или букет сульфатом хинина и выставим его на полный свет, то почти ничего не увидим. Но при вставке фиолетового стекла рисунок мгновенно вспыхивает, создавая сильный контраст с глубоким окружающим фиолетовым цветом. Президент Мортон приготовил для меня прекраснейший образец такого дизайна, который при освещении фиолетовым светом демонстрирует особенно яркое флуоресцентное свечение. Из экспериментов доктора Дж. Бенс Джонс и Дюпре, казалось бы, что в организме человека есть какое-то вещество, напоминающее сульфат хинина, которое заставляет все ткани организма

более или менее флуоресцировать. Все настои на животных обладают такой флуоресценцией. Хрусталик глаза демонстрирует этот эффект очень поразительным образом. Когда, например, я погружаю свой глаз в этот фиолетовый луч, я ощущаю беловато-голубое мерцание, заполняющее пространство передо мной. Это вызвано флуоресцентным светом, генерируемым самим глазом. При взгляде извне хрусталик в то же время ярко блестит.

Этот флуоресцентный свет привлек внимание задолго до того, как было понято его физическое происхождение. Бойл описывает его с большой полнотой и точностью. "Иногда мы, - говорит он, - находили в лавках наших аптекарей определенное дерево, которое там называется *Lignum Nephriticum*, потому что жители страны, где оно растет, имеют обыкновение использовать его настой, приготовленный на чистой воде, против камней в почках. Это дерево может предоставить нам возможность для эксперимента, который, помимо его необычности, может оказать немалую помощь внимательному наблюдателю в определении природы цветов. Возьмите *Lignum, Nephriticum* и нарежьте ножом тонкими ломтиками: положите примерно горсть этих ломтиков в два, три или четыре фунта чистой родниковой воды. Налейте эту пропитанную воду в стеклянный флакон; и если вы будете держать его прямо между светом и вашими глазами, вы увидите, что он полностью окрашен в почти золотистый цвет. Но если вы поднесете этот флакон к свету так, чтобы ваш глаз находился между окном и флаконом, жидкость приобретет глубокий и приятный лазурный цвет.

"На эти и другие явления, которые я наблюдал в ходе этого восхитительного эксперимента, многие из моих друзей смотрели не без некоторого удивления; и я помню, как один превосходный окулист, случайно обнаружив в комнате друга флакон, наполненный этим напитком, который я дал этому другу, и никогда ничего не слышал об эксперименте, и рядом с ним не было никого, кто мог бы сказать ему, что это за странный напиток, некоторое время опасался, как он вскоре сказал мне, что в его глаза вторглось какое-то новое странное заболевание. И я признаюсь, что необычность явления побудила меня очень заинтересоваться выяснением причины этого эксперимента; и хотя я далек от того, чтобы притворяться, что нашел ее, все же мои расспросы, я полагаю, позволили мне дать такие намеки, которые могут привести вашу большую проницательность к открытию причины этого чуда".[21]

Гете в своем "Фарбенlehре" так описывает флуоресценцию коры конского каштана: "Возьмите полоску свежей коры конского каштана и опустите в стакан с водой; немедленно получится самый совершенный небесно-голубой цвет".[22] Сэр Джон Гершель первым заметил и описал флуоресценцию сульфата кальция. хинин, и показали, что свет исходил от тонкого слоя раствора, прилегающего к поверхности, куда попадает свет. Более того, он показал, что падающий луч, хотя и не заметно ослаблял интенсивность свечения, терял при прохождении через раствор сульфата хинина способность производить синий флуоресцентный свет. Сэр Дэвид Брюстер также работал над этим предметом; но профессору Стоксу мы обязаны не только его расширением, но и полным и окончательным объяснением.

§ 3. Тепло электрического луча. Воспламенение через ледяную линзу. Возможная температура на комете.

Но волны от наших накаленных угольных очков воздействуют не только на зрение, но и на другие органы чувств. Они производят не только свет, но и тепло в качестве ощущения. Увеличенное изображение угольных точек теперь находится на экране; и с помощью

подходящего прибора можно было бы легко продемонстрировать нагревающую силу лучей, формирующих это изображение. Однако в этом случае тепло распространяется на слишком большую площадь, чтобы быть очень интенсивным. Выдвигая объектив камеры и приближая подвижный экран к лампе, видно, что изображение становится все меньше и меньше; в то же время лучи становятся все более и более концентрированными, пока, наконец, им не удастся прожечь черную бумагу горящим кольцом. Отодвигая линзу так, чтобы лучи были параллельны, и принимая их на вогнутое зеркало, они фокусируются; бумага, помещенная в этот фокус, начинает дымиться и гореть. Тепло такой интенсивности можно получить с помощью нашей обычной камеры и объектива, а также вогнутого зеркала очень умеренной мощности.

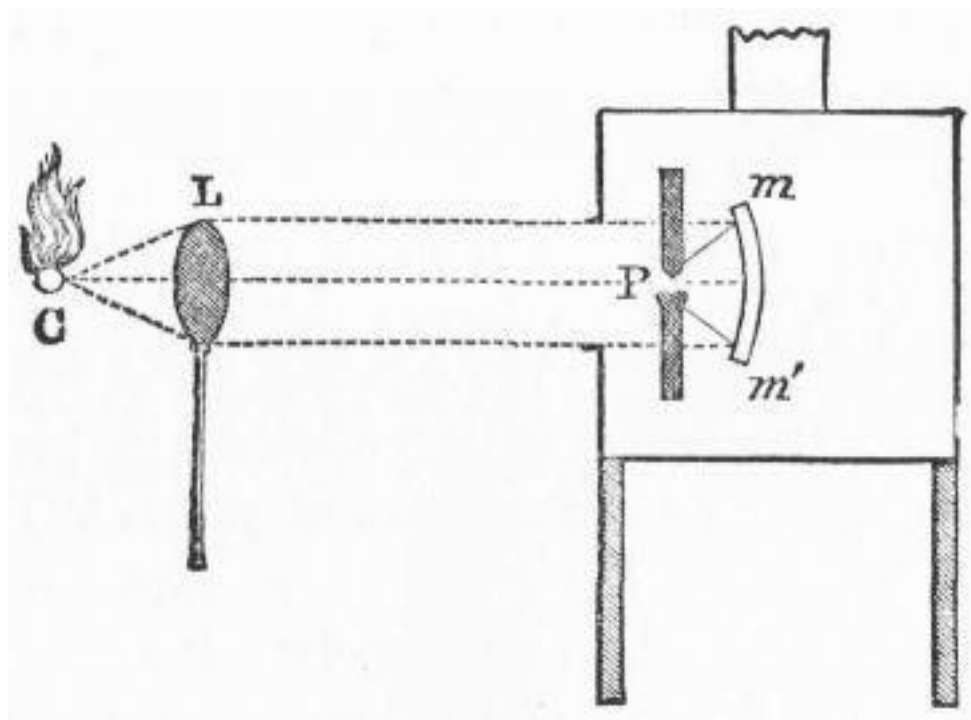


Рис. 48.

Теперь мы примем более строгие меры в отношении радиации. В эту большую камеру из почерневшей жести помещена лампа, во всех деталях аналогичная тем, что уже использовались. Но вместо того, чтобы собирать лучи от угольных точек с помощью конденсирующей линзы, мы собираем их с помощью вогнутого зеркала ($m m'$, рис. 48), посеребренное спереди и расположенное позади углей (P). С помощью этого зеркала мы можем заставить лучи выходить через отверстие перед камерой, параллельные или сходящиеся. Теперь они параллельны и, следовательно, в определенной степени размыты. Мы помещаем выпуклую линзу (L) на пути луча; свет собирается в фокус (C), и в этом фокусе бумага не только прокалывается, но и мгновенно воспламеняется.

Многие металлы могут сгорать таким же образом. В нашей первой лекции упоминалась горючесть цинка. Поместив полоску листового цинка в этот фокус, она мгновенно воспламеняется, сгорая характерным фиолетовым пламенем. А теперь я заменю нашу стеклянную линзу (L) линзой более оригинального характера. В гладкой железной форме образовалась линза из прозрачного льда. Поместив его в положение, которое мгновение назад занимала стеклянная линза, я вижу, что луч находится в четкой фокусировке. В центр внимания я кладу кусочек черной бумаги с небольшим количеством ваты, завернутой в нее. Бумага

немедленно воспламеняется, и вата взрывается. Не странно ли, что луч обладает такой нагревательной способностью после прохождения через столь холодное вещество? В своих арктических экспедициях доктору Скорсби удалось взорвать порох солнечными лучами, преломленными большими линзами льда; здесь нам удалось добиться такого эффекта с помощью маленькой линзы и земного источника тепла.

В этом эксперименте вы наблюдаете, что прежде чем луч достигнет ледяной линзы, он прошел через стеклянную ячейку, содержащую воду. Таким образом, луч отсеивается от составляющих, которые, если допустить их попадание на линзу, повредили бы ее поверхность и размыли фокус. И это заставляет меня сказать несколько предваряющих слов относительно прозрачности. В нашей первой лекции мы полностью рассмотрели производство цветов путем поглощения и неоднократно говорили о гашении лучей света. Означало ли это, что свет был полностью уничтожен? Ни в коем случае. Просто его преломляемость была настолько снижена, что он не попадал в поле зрения. Он был преобразован в тепло. Наша красная лента в зеленой части спектра приглушала зеленый цвет, но при соответствующем исследовании ее температура была бы обнаружена повышенной. Наша зеленая лента в красной части спектра приглушала красный цвет, но ее температура в то же время повышалась до степени, в точности эквивалентной погашенному свету. Было установлено, что наша черная лента, пропущенная через спектр, способна гасить все свои цвета; но на каждом этапе ее прохождения в ленте выделялось количество тепла, в точности эквивалентное потерявшему свету. Таким образом, только когда происходит *поглощение*, выделяется тепло, а тепло всегда является результатом поглощения.

Затем осмотрите воду перед лампой после того, как через нее пройдет луч: она ощутимо теплая, и, если оставить ее там достаточно долго, ее можно довести до кипения. Это происходит из-за поглощения водой определенной части электрического луча. Но часть проходит сквозь него непоглощенной и совсем не способствует нагреву воды. Лед также в значительной степени прозрачен для этих последних лучей и, следовательно, лишь в малой степени растапливается ими. Следовательно, используя часть луча, пропускаемого водой, мы можем сохранить нашу линзу неповрежденной и добиться с ее помощью четко выраженного фокуса. Помещенная в этот фокус белая бумага не воспламеняется, поскольку она не поглощает лучи, исходящие от ледяной линзы. Однако в том же месте черная бумага мгновенно сгорает, потому что она поглощает проходящий свет.

И здесь может быть полезно сослаться на оценку Ньютона, основанную на сомнительных данных, но повторяемую различными выдающимися астрономами с его времени. Комета 1680 года, ближайшая к солнцу, находилась всего в шестой части диаметра солнца от его поверхности. Ньютон подсчитал, что его температура в этом положении более чем в две тысячи раз выше температуры расплавленного железа. Теперь из приведенных выше экспериментов ясно, что температуру кометы нельзя было определить по ее близости к солнцу. Если бы ее поглощающая способность была достаточно низкой, комета могла бы принести в окрестности Солнца холод звездного пространства.

§ 4. Горение алмаза лучистым теплом.

Эксперимент по сжиганию алмаза в кислороде концентрированными лучами солнца был повторен во Флоренции в присутствии сэра Хамфри Дэви во вторник, 27 марта 1814 года. Фарадей описывает это так: "Сегодня мы провели грандиозный эксперимент по обжигу алмаза, и, конечно, представленные явления были чрезвычайно красивыми и интересными.

Изстеклянного шара размером около 22 кубических дюймов выпустили воздух и наполнили чистым кислородом. Алмаз был установлен в центре этого шара. Обжигающее стекло герцога было инструментом, с помощью которого к алмазу прикладывали тепло. Он состоит из двух двойных выпуклых линз, удаленных друг от друга примерно на 3½ фута; большая линза имеет около 14 или 15 дюймов в диаметре, меньшая - около 3 дюймов в диаметре. С помощью второй линзы фокусировка сильно уменьшается, а тепло, когда ярко светит солнце, становится очень интенсивным. Бриллиант поместили в фокус и с тревогой наблюдали. Внезапно сэр Х. Дэви заметил, что алмаз заметно горит, и когда его извлекли из фокуса, оказалось, что он находится в состоянии активного и быстрого горения".

Сгорание алмаза никогда не происходило под действием теплового излучения земного источника. Я пытался осуществить это перед пересечением Атлантики, и мне это удалось. Маленький бриллиант, который сейчас у меня в руке, удерживается петелькой из платиновой проволоки. Чтобы максимально защитить его от воздушных потоков, а также сконцентрировать на нем тепло, он окружен колпаком из листовой платины. Поднося к нему банку с кислородом, я направляю фокус электрического луча на алмаз. Небольшой доли времени, затраченного на эксперимент, описанный Фарадеем, достаточно, чтобы придать алмазу ярко-красный цвет. Затем его погружают в кислород, и он светится, как маленькая белая звездочка; и он будет продолжать гореть до тех пор, пока полностью не погаснет. Фокус также может быть направлен на алмаз в кислороде, как во флорентийском эксперименте: результат тот же. К описанному здесь способу эксперимента прибегли просто для того, чтобы обеспечить более полное владение положением фокуса, чтобы заставить его точно падать на алмаз.

§ 5. Ультракрасные лучи: теплосветимость.

На пути луча, исходящего от нашей лампы, я теперь помещаю ячейку со стеклянными стенками, содержащую раствор квасцов. Весь свет луча проходит через это решение. Этот свет попадает на мощно сужающееся зеркало, посеребренное спереди, и фокусируется зеркалом. Вы можете видеть, как конический луч отраженного света проходит сквозь пыль в комнате. Клочок белой бумаги, помещенный в фокус, сияет ослепительно ярко, но он даже не обуглился. Однако при извлечении ячейки с квасцами бумага мгновенно воспламеняется. Следовательно, в этом луче должно быть что-то еще, кроме его света. Свет не поглощается белой бумагой и, следовательно, не сжигает бумагу; но есть что-то сверх света, что *is* поглощается и провоцирует горение. Что это за "что-то"?

В 1800 году сэр Уильям Гершель провел термометром по различным цветам солнечного спектра и отметил повышение температуры, соответствующее каждому цвету. Он обнаружил, что нагревающий эффект усиливается от фиолетового до красного; однако он не остановился на красном, а сунул свой термометр в темное пространство за ним. Здесь он обнаружил, что температура на самом деле выше, чем в любой части видимого спектра. Этим важным наблюдением он доказал, что солнце испускает тепловые лучи, которые совершенно непригодны для целей зрения. Впоследствии этой темой занялись Зеебек, Меллони, Мюллер и другие, и в течение последних нескольких лет было обнаружено, что она способна к неожиданному расширению и применению. Я разработал метод, посредством которого солнечный или электрический луч может быть так *отфильтрован*, чтобы отделить от него и сохранить нетронутым это невидимое ультракрасное излучение, в то время как видимое и

ультрафиолетовое излучения полностью перехватываются. Таким образом, мы можем по своему желанию воздействовать на чисто ультракрасные волны.

При нагревании твердых тел до накала это невидимое излучение является необходимой основой визуального восприятия. Перед столом натянут платиновый провод, по которому течет электрический ток. Он нагревается от тока, и его можно ощутить рукой как теплый. Он излучает волны тепла, но не света. Увеличивая силу тока, провод нагревается еще больше; в конце концов, он светится спокойным красным светом. На этом этапе доктор Дрейпер много лет назад начал интересное исследование. Он использовал электрический ток для нагрева своей платины и изучал с помощью призмы последовательное введение цветов спектра. Его первым цветом, как и здесь, был красный; затем появился оранжевый, затем желтый, затем зеленый и, наконец, все оттенки синего. По мере постепенного повышения температуры платины атомы вибрировали все быстрее; таким образом, вводились более короткие волны, пока, наконец, не были получены волны, соответствующие всему спектру. По мере введения каждого последующего цвета цвета, предшествующие ему, становились более яркими. Теперь яркость или интенсивность света, как и звука, зависит не от длины волны, а от амплитуды вибрации. Следовательно, поскольку менее преломляемые цвета становились более интенсивными при введении более преломляемых, мы вынуждены заключить, что наряду с введением более коротких волн мы имели увеличение амплитуды более длинных.

Эти замечания применимы не только к видимому излучению, исследованному доктором Дрейпером, но и к невидимому излучению, которое предшествует появлению любого света. В излучении раскаленной добела платиновой проволоки, которая сейчас перед вами, существуют волны без света, с которых мы начали, только их интенсивность была увеличена в тысячу раз за счет повышения температуры, необходимой для производства этого белого света. Оба эффекта связаны друг с другом: в раскаленном добела твердом теле или в расплавленном твердом теле вы не можете получить более короткие волны без этого усиления более длинных. Солнце возможно только при этих условиях; отсюда открытие сэром Уильямом Гершелем невидимого ультракрасного солнечного излучения.

Невидимое тепло, излучаемое как темными, так и светящимися телами, распространяется в пространстве со скоростью света и называется *лучистым теплом*. Теперь лучистое тепло можно превратить в тонкого и мощного исследователя молекулярного состояния, и в последние годы оно придало новое значение акту химического соединения. Возьмем, к примеру, воздух, которым мы дышим. Это смесь кислорода и азота; и он ведет себя по отношению к лучистому теплу как вакуум, будучи неспособным поглощать его в какой-либо ощутимой степени. Но позвольте тем же двум газам химически соединиться; тогда, без какого-либо увеличения количества вещества, без изменения газообразного состояния, без какого-либо вмешательства в прозрачность газа, акт химического соединения сопровождается огромным уменьшением его *диатермичности*, или проницаемости для лучистого тепла.

Исследования, установившие этот результат, также доказали, что элементарные газы, как правило, очень прозрачны для лучистого тепла. Это, опять же, привело к доказательству диатермичности элементарных жидкостей, таких как бром, и растворов твердых элементов серы, фосфора и йода. Теперь перед вами спектр, и вы замечаете, что прозрачный бисульфид углерода никак не влияет на цвета. Бросив в жидкость несколько капель йода, вы видите, что середина спектра срезана. Увеличивая количество йода, мы вторгаемся во весь спектр и,

наконец, полностью отключаем его. Итак, йод, который оказывается таким враждебным к свету, совершенно прозрачен для ультракрасного излучения, с которым нам сейчас приходится иметь дело. Следовательно, он должен стать нашим фильтром для лучей.

Снова поместив ячейку с квасцами перед электрической лампой, мы, как и прежде, убеждаемся в полной неспособности концентрированного света воспламенить белую бумагу - помещая ячейку, содержащую раствор йода, свет полностью отключается; а затем, при удалении ячейки с квасцами, белая бумага в темном фокусе мгновенно воспламеняется. Черная бумага лучше поглощает эти лучи, чем белая, и, как следствие, благодаря ей увеличивается внезапность и сила горения. Цинк сгорает в том же месте, магний ярко горит, а лист платинированной платины, помещенный в фокус, нагревается до белизны.

При взгляде через призму раскаленная добела платина дает все цвета спектра. До столкновения с платиной волны повторялись слишком медленно, чтобы пробудить зрение; под действием атомов платины эти длинные и вялые волны разбиваются на более короткие, попадая таким образом в зону видимости. На другом конце спектра, путем введения подходящих веществ, профессор Стоукспонизил преломляемость, чтобы сделать невидимые лучи видимыми, и этому изменению он дал название *флуоресценции*. Здесь, благодаря вмешательству платины, преломляемость *повышается*, чтобы сделать невидимое визуальным, и этому изменению я дал название *Теплосветимость*.

В совершенно невидимом фокусе, где создаются эти эффекты, воздух может быть холодным как лед. Воздух, как уже говорилось, не поглощает лучистое тепло и, следовательно, не нагревается им. Ничто не могло бы более убедительно проиллюстрировать выделение, если можно так выразиться, светоносного эфира из воздуха. Волновое движение одного из них нагромождается до необычайной степени интенсивности, не производя никакого ощутимого воздействия на другое. Я могу добавить, что с соответствующими предосторожностями глаз может быть помещен в фокус, позволяющий нагревать платину до ярко-красного цвета без каких-либо повреждений или малейшего ощущения света или тепла.

Важную роль, которую эти ультракрасные лучи играют в Природе, можно проиллюстрировать следующим образом: я снимаю йодный фильтр и концентрирую весь луч на пробирке с водой. Оно сразу начинает булькать, а через минуту или две *закипает*. От чего оно закипает? Если поместить раствор квасцов перед лампой, кипение мгновенно прекратится. Квасцы проницаемы для всех световых лучей; следовательно, эти лучи не могут быть причиной кипения. Теперь я добавляю йод и удаляю квасцы: в невидимом очаге немедленно возобновляется энергичное кипение. Таким образом, мы здесь фиксируем нагрев воды невидимыми ультракрасными лучами.

Таким образом, мы получаем возможность понять важную роль, которую играют эти лучи в Природе. Именно им мы обязаны потеплением и последующим испарением тропического океана; следовательно, именно им мы обязаны нашими дождями и снегами. Они поглощаются близко к поверхности океана и нагревают поверхностную воду, в то время как светящиеся лучи проникают на большие глубины, не производя никакого ощутимого эффекта. Но мы можем пойти дальше. Вот большая колба, содержащая замораживающую смесь, которая настолько охладила колбу, что водяные пары воздуха в этой комнате сконденсировались и замерзли на ней до белого налета. Вводя квасцовую ячейку и помещая слой инея в интенсивно светящийся фокус электрической лампы, ни один колоск ослепительного инея не расплавляется. Вводя

йодную ячейку и удаляя квасцы, большое пространство замороженного покрытия мгновенно растапливается. Отсюда мы делаем вывод, что снег и лед, которые питают Рону, Рейн и другие реки, истоки которых лежат в ледниках, освобождаются из своего заточения в горах невидимыми ультракрасными лучами солнца.

§ 6. Идентичность света и лучистого тепла. Отражение от плоских и криволинейных поверхностей. Полное отражение тепла.

Рост науки происходит органично. То, что сегодня является *целью* завтра становится *средством* для достижения более отдаленной цели. Каждое новое открытие в науке немедленно становится основой для других открытий или новых методов исследования. Так, около пятидесяти лет назад Эрстед из Копенгагена открыл отклонение магнитной стрелки под действием электрического тока; и примерно в то же время Томас Сибек из Берлина открыл термоэлектричество. Эти великие открытия вскоре были использованы Нобили и Меллони при создании прибора, который значительно расширил наши знания о лучистом тепле. Этот инструмент, который называется *термоэлектрической сваей*, или, более кратко, *термосваей*, состоит из тонких стержней из висмута и сурьмы, попеременно спаянных вместе на концах, но отделенных друг от друга в других местах. От концов этого "термонакладки" провода проходят к гальванометру, который состоит из катушки покрытой проволокой, внутри и над которой подвешены две магнитные стрелки, соединенные с жесткой системой и тщательно защищенные от потоков воздуха.

Действие устройства заключается в следующем: тепло, падающее на ворс, создает электрический ток; ток, проходящий через катушку, отклоняет иглы, и величина отклонения может быть использована для измерения тепла. Верхняя стрелка перемещается по градуированному циферблату, слишком маленькому, чтобы его можно было разглядеть непосредственно. Однако сейчас он сильно освещен, а над ним установлена линза, которая, если бы это было разрешено, сформировала бы изображение стрелки и циферблата на потолке. Там, однако, это было неудобно рассматривать. Поэтому луч попадает в зеркало, расположенное под нужным углом, которое отбрасывает изображение на экран. Таким образом, движения этой маленькой иглы могут быть видны всем вам.

Тонкость этого аппарата такова, что в помещении, заполненном, как это помещение сейчас, физически теплой аудиторией, работать с ним чрезвычайно сложно. Мой ассистент стоит в нескольких футах от меня. Я поворачиваю стопку к нему: тепло, исходящее от его лица, даже на таком расстоянии отклоняет ее на 90°. Я поворачиваю прибор к дальней стене, где температура немного ниже средней по комнате. Стрелка опускается и переходит на другую сторону от нуля, указывая этим отрицательным отклонением, что стопка потеряла свое тепло из-за излучения на холодную стену. Обладая этим инструментом, нашим фильтром для лучей и нашими большими призмами Nicol, мы в состоянии исследовать предмет, представляющий большой философский интерес; тот, который долгое время привлекал внимание некоторых наших передовых научных работников - существенную *идентичность света и лучистого тепла*.

Того, что они идентичны во всех отношениях, конечно, быть не может, поскольку в противном случае они действовали бы одинаковым образом на все инструменты, включая *глаз*. Имеется в виду идентичность, которая существует между одним цветом и другим, заставляя их вести себя одинаково в отношении отражения, преломления, двойного преломления и поляризации.

Давайте здесь быстро пробежимся по сходству света и тепла. Что касается отражения от плоских поверхностей, мы можем использовать зеркало для отражения света. Отмечая любую точку на пути отраженного луча, перекрывая свет раствором йода и помещая ворсинку в отмеченную точку, игла немедленно отклоняется в сторону, показывая, что тепло отражается в том же направлении, что и свет. Это верно для любого положения зеркала. Возвращаясь, например, к простому прибору, использованному в нашей первой лекции (рис. 3, стр. 11); перемещая указатель, прикрепленный к зеркалу, вдоль делений нашей градуированной дуги (m n) и определяя с помощью стопки положения невидимого отраженного луча, мы доказываем, что угловая скорость теплового луча, как и угловая скорость светового луча, в два раза больше, чем у зеркала.,,

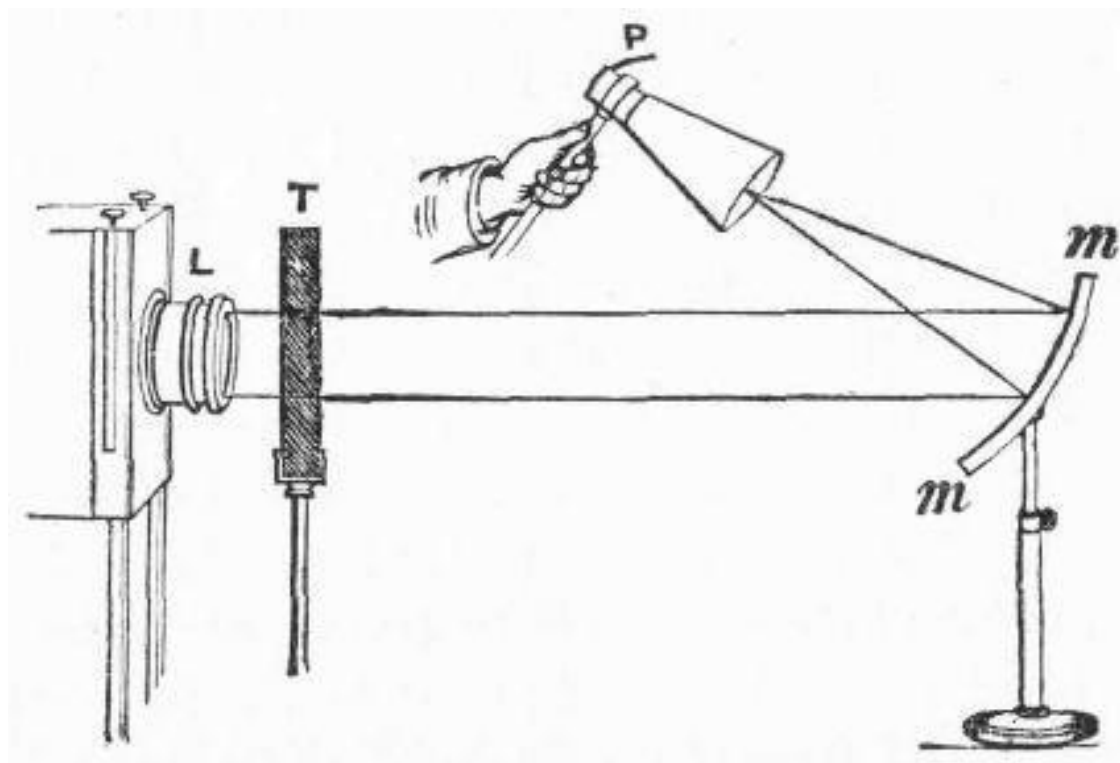


РИС. 49.

Что касается отражения от изогнутых поверхностей, идентичность также остается в силе. Принимая луч от нашей электрической лампы на вогнутое зеркало (m m , рис. 49), он собирается в конус отраженного света, который становится видимым благодаря плавающей в воздухе пыли; отмечая вершину конуса указкой и отключая свет раствором йода (Т), мгновенное воздействие ворса (Р) в отмеченной точке приводит к сильному отклонению иглы.

Можно одновременно продемонстрировать общее и полное отражение луча лучистого тепла. От сопла лампы (L, рис. 50) луч падает на плоское зеркало (Mn), отражается вверх и попадает в прямоугольную призму, сечением которой является a b с. Он пересекается с гипотенузой под наклоном, большим, чем предельный угол,^[23] и, следовательно, полностью отражен. Если погасить свет фильтром лучей в положении F и поместить пучок в положение Р, полностью отраженный тепловой луч немедленно ощущается пучком и определяется гальванометрическим отклонением.

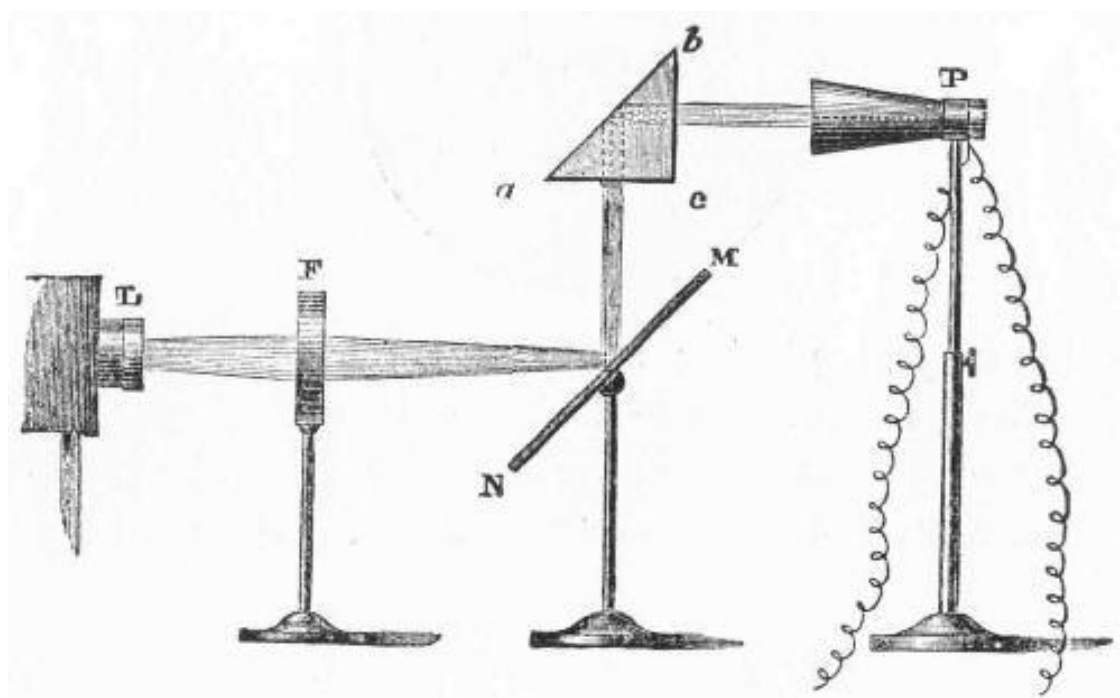


Рис. 50.

§ 7. Невидимые изображения, образованные лучистым теплом.

Пожалуй, ни один эксперимент не доказывает более убедительно существенную идентичность света и лучистого тепла, чем формирование невидимых тепловых образов. Используя зеркало, которое уже использовалось для повышения концентрации луча до его наивысшего состояния, мы получаем, как хорошо известно, перевернутое изображение угольных точек, сформированных световыми лучами в фокусе. Отсекая свет с помощью лучевого фильтра и помещая в фокус тонкий лист платинированной платины, невидимые лучи заявляют о своем присутствии и распространении, нанося на платину раскаленное добела изображение атомов углерода. (См. рис. 51.)

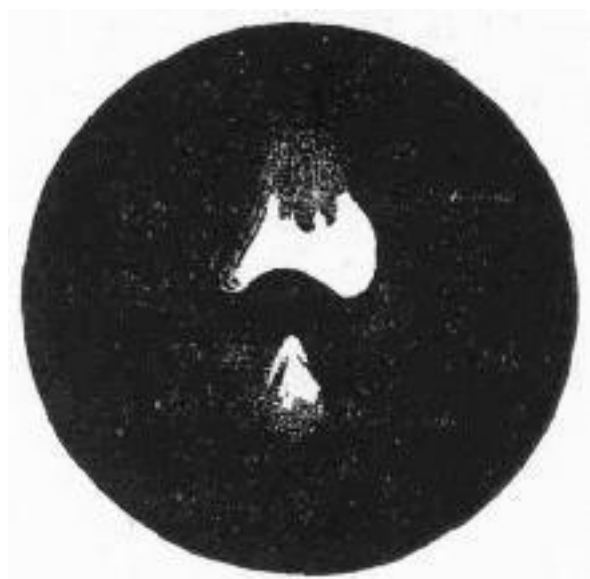


Рис. 51.

§ 8. Поляризация тепла.

Вопрос о том, способно ли лучистое тепло к поляризации или нет, долгое время был предметом обсуждения. Берард объявил о положительных результатах, но Пауэлл и Ллойд не смогли их подтвердить. Сомнения, возникшие таким образом по этому вопросу, были устранены экспериментами Форбса, который первым установил поляризацию и "деполяризацию" тепла. Впоследствии эту тему продолжил Меллони, непревзойденный исследователь, который проницательно обратился к своему собственному открытию о том, что неясные лучи источников света частично пропускаются черным стеклом. Перехватывая пластинкой из этого стекла свет от масляного пламени и воздействуя на передаваемое невидимое тепло, он добился эффектов поляризации, намного превосходящих по величине те, которые можно было бы получить с помощью несветящихся источников. В настоящее время обладание нашим более совершенным фильтром для лучей и более мощным источником тепла позволяет нам исследовать этот вопрос идентификации в его предельных практических пределах.

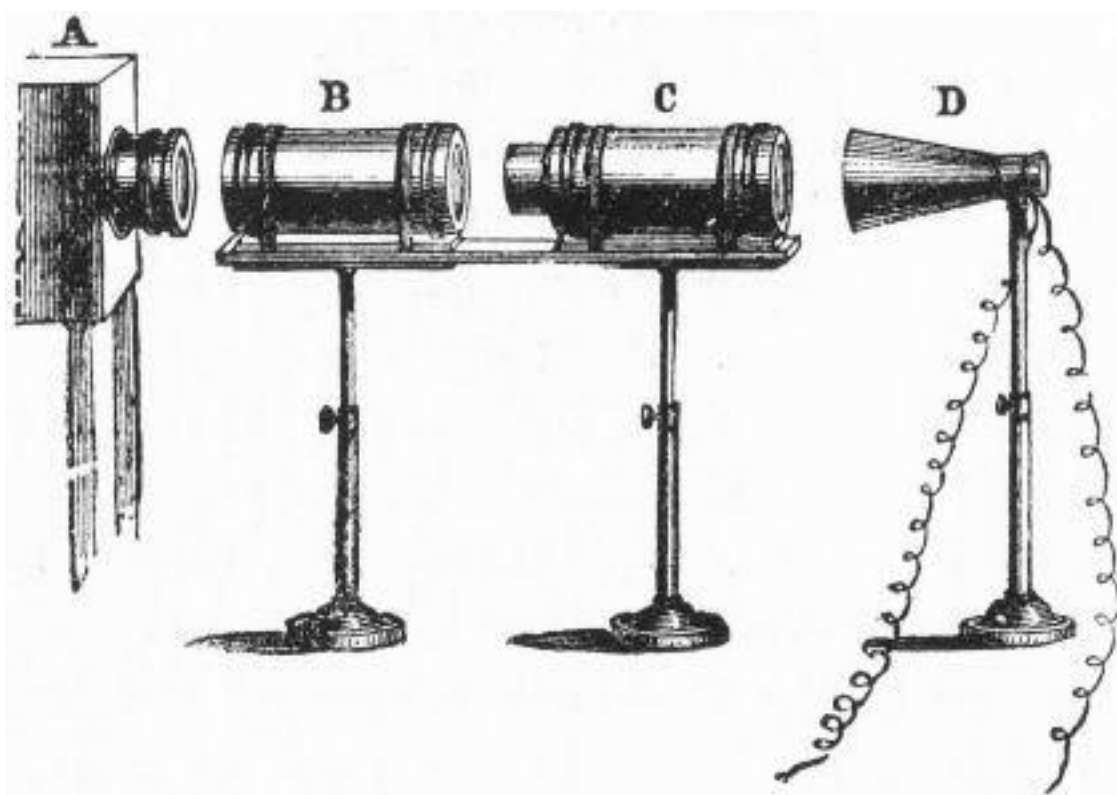


Рис. 52.

Устанавливаем два наших Nicol (B и C, рис. 52) перед электрической лампой, при этом их основные секции скрещены, чтобы свет не попадал на экран. При размещении нашего термоэлектрического накопителя (D) за призмами лицевой стороной к источнику никакого отклонения гальванометра не наблюдается. Расположенный между лампой (A) и первой призмой (B) нашего лучевого фильтра, свет, ранее проходивший через первый никелевый фильтр, гасится; и теперь малейший поворот любого никелевого фильтра открывает путь для передачи тепла, очень небольшого поворота достаточно, чтобы повернуть иглу на 90° . Когда Николя возвращается в исходное положение, стрелка снова опускается до нуля, таким образом самым наглядным образом демонстрируя поляризацию тепла.

Когда Николи пересекаются и поле темное, вы видели, в случае освещения, эффект введения пластины слюды между поляризатором и анализатором. В двух положениях слюда не оказывает ощутимого влияния; во всех остальных она оказывает. Точно аналогичное поведение наблюдается в отношении лучистого тепла. Представляя наш лучевой фильтр, термоворс, играющий роль глаза в отношении невидимого излучения, не получает тепла, когда глаз не получает света; но когда слюда повернута так, что плоскости ее колебаний наклонены к плоскостям поляризатора и анализатора, тепло немедленно проходит сквозь нее. Действие становится настолько сильным, что кратковременного погружения пленки слюды в темное пространство между Николями достаточно, чтобы повернуть иглу на 90° . Именно к этому эффекту был применен термин "деполяризация"; эксперимент, действительно доказывающий, что как со светом, так и с теплом мы имеем одинаковое разрешение пластинкой слюды и повторное соединение эфирных вибраций анализатором.

Удалив слюду и снова повернув иглу на 0° , я помещаю между наконечниками Николь пластинку кварца, вырезанную перпендикулярно оси; немедленное отклонение иглы свидетельствует о передаче тепла, и когда проходящий луч должным образом исследован, оказывается, что он поляризован по кругу, точно так же, как поляризуется луч света при тех же условиях.

§ 9. Двойное преломление тепла.

Теперь я оставлю Николя и пропущу сквозь кусок исландского шпата (Б, рис. 53), который уже использовался (в лекции III) для иллюстрации двойного преломления света, наш рассеянный луч невидимого тепла. Чтобы определить положение двух изображений, давайте сначала воздействуем на световой луч. Отмечая места расположения светоизображений, мы вводим между N и L наш лучофильтр (не показан на рисунке) и гасим свет. Подводя ворс к одному из отмеченных мест, игла остается неподвижной до тех пор, пока не будет достигнуто указанное место; здесь ворс сразу же ощущает нагрев. Проталкивая ворс через интервал, разделяющий две метки, игла сначала опускается на 0° , а затем снова поднимается на 90° во втором положении. Это доказывает двойное преломление тепла.

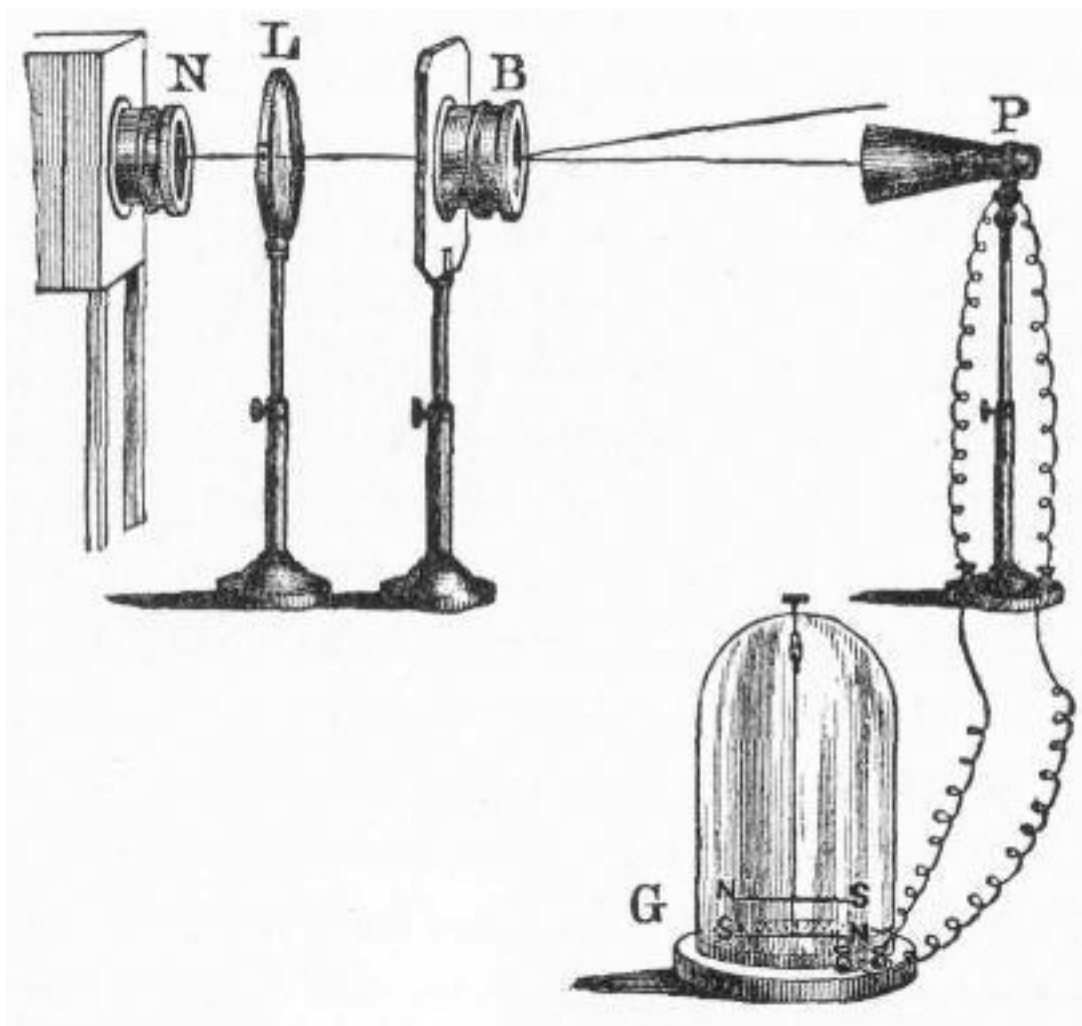


Рис. 53.

Теперь я поворачиваю исландский лонжерон: игла остается неподвижной; отклонение не изменяется. Быстро перемещая свая к другой отметке, отклонение сохраняется. Я еще раз поворачиваю лонжерон, но теперь стрелка опускается на 0° , поднимаясь, однако, снова на 90° после поворота на 360° . Мы знаем, что в случае света необычный луч вращается вокруг обычного; и здесь мы оперировали с необычным тепловым лучом, который в отношении двойного преломления ведет себя точно так же, как луч света.

§ 10. Намагничивание тепла.

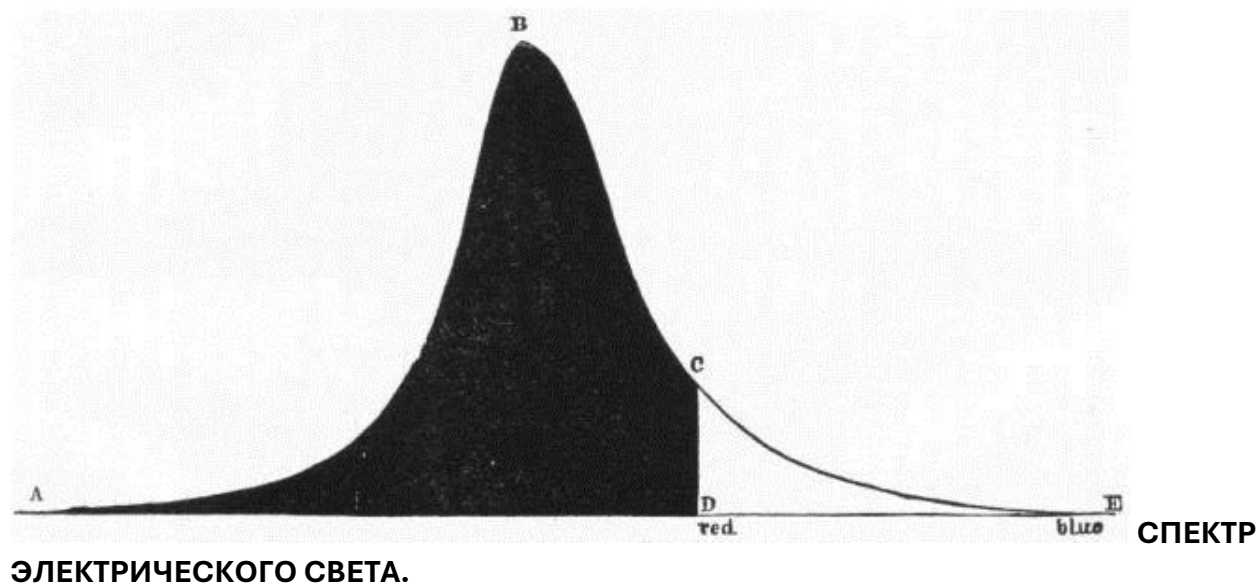
Чтобы сделать нашу серию сравнений полной, мы должны продемонстрировать намагничивание тепла. Но здесь потребуется небольшое изменение нашей схемы. При повторении эксперимента Фарадея по намагничиванию света мы, в первом случае, пересекли поля Николса, и поле стало темным, а при возбуждении магнита на экране появилась вспышка света. Теперь количество света, проходящего в этом случае, действительно очень мало, и его эффект оказывается поразительным благодаря контрасту с предшествующей темнотой. Когда мы размещаем Николы таким образом, что их основные секции составляют угол 45° , возбуждение магнита вызывает гораздо большее положительное усиление света, хотя это усиление не так хорошо видно из-за отсутствия контраста, потому что здесь, при запуске, поле освещено.

Пытаясь намагнитить наш тепловой луч, мы примем это устройство. Однако здесь вначале значительное количество тепла попадает на одну сторону сваи. Это необходимо нейтрализовать, позволив лучам из другого источника падать на противоположную сторону стопки. Стрелка, таким образом, устанавливается на ноль. Перекрывая свет нашим фильтром для лучей и возбуждая магнит, стрелка мгновенно отклоняется, доказывая, что магнит открыл дверь для тепла, точно так же, как в эксперименте Фарадея он открыл дверь для света. Таким образом, в каждом случае, попавшем в поле нашего зрения, была продемонстрирована существенная идентичность света и лучистого тепла.

В результате изысканных экспериментов Кноблауха, который долго и успешно работал над этим вопросом, впервые было продемонстрировано двойное преломление тепла исландским шпатом; но, хотя он использовал светящееся тепло солнца, наблюдаемые отклонения были чрезвычайно малы. Точно так же эти выдающиеся исследователи Де ла Повостай и Десен преуспели в намагничивании теплового луча; но хотя в их случае также использовалось светящееся солнечное тепло, полученное отклонение составило не более двух или трех градусов. С *неясным* лучистым теплом эффект, предшествующий представленным вам экспериментам, не был получен; но с помощью описанного здесь устройства мы получаем отклонения от чисто невидимого тепла, равные 150 нижним градусам гальванометра.

§ 11. *Распределение тепла в электрическом спектре.*

Наконец, нам нужно определить положение и величину невидимого излучения, которое приводит к таким результатам. Для этой цели мы используем термонакопитель особой формы. Его грань представляет собой прямоугольник, который с помощью подвижных боковых частей можно сделать настолько узким, насколько это желательно. Выводя на экран небольшой и концентрированный спектр, с помощью бесконечного винта мы перемещаем прямоугольную стопку по всему спектру и последовательно определяем тепловую мощность всех его цветов.



Когда этот прибор подносят к фиолетовому концу спектра, оказывается, что тепло почти не ощущается. По мере того, как слой постепенно переходит от фиолетового к красному, он сталкивается с постепенно усиливающимся нагревом. Красный цвет сам по себе обладает самой высокой нагревательной способностью из всех цветов спектра. Вытаскивая стопку в

темное пространство за красным цветом, жар внезапно возрастает по интенсивности и на некотором расстоянии за красным цветом достигает максимума. С этого момента жар падает несколько быстрее, чем поднимался, а затем постепенно спадает.

Проводя горизонтальную линию, представляющую длину спектра, и устанавливая вдоль нее в различных точках перпендикуляры, пропорциональные по длине теплу, существующему в этих точках, мы получаем кривую, которая показывает распределение тепла в призматическом спектре. Это изображено на соседнем рисунке. Начиная с синего цвета, кривая поднимается, сначала очень постепенно; к красному она поднимается быстрее, линия C D (рис. 54, противоположная страница) представляет силу экстремально красного излучения. За красным он взмывает вверх крутым и массивным пиком к B; откуда некоторое время быстро падает, а затем постепенно исчезает из восприятия кучи. Этот рисунок является результатом более чем двенадцати тщательных серий измерений, на основе каждой из которых была построена кривая. При наложении всех этих кривых было обнаружено, что между ними существует удовлетворительное соответствие. Таким образом, можно с уверенностью заключить, что области темного и белого пространств, соответственно, представляют собой относительные энергии видимого и невидимого излучения. Одно в 7,7 раза больше другого.

Но в проверке, как уже говорилось, заключается сила науки. Сначала определяют общее излучение электрической лампы, а затем, с помощью йодного фильтра, определяют ультракрасное излучение; разница между обоими дает световое излучение. Таким образом, было обнаружено, что энергия невидимого излучения в восемь раз превышает энергию видимого. Никакие два метода не могут быть более противоположными друг другу, и вряд ли какие-либо два результата могли бы лучше гармонизировать. Поэтому я думаю, что вы можете положиться на точность распределения тепла, приписываемого здесь призматическому спектру электрического света. В методе исследования нет ничего расплывчатого или сомнительного в его выводах. Спектры, однако, формируются с помощью *дифракции*, при которой распределение как тепла, так и света отличается от распределения, создаваемого призмой. Эти дифракционные спектры были с большим мастерством исследованы Дрейпером и Лэнгли. В призматическом спектре менее преломляемые лучи сжимаются в гораздо меньшее пространство, чем в дифракционном спектре.

ЛЕКЦИЯ VI.

ПРИНЦИПЫ СПЕКТРАЛЬНОГО АНАЛИЗА

ПРИЗМАТИЧЕСКИЙ АНАЛИЗ СВЕТА ПАРОВ ЛАМП НАКАЛИВАНИЯ

РАЗРЫВНЫЕ СПЕКТРЫ

ПОЛОСЫ СПЕКТРА, ДОКАЗАННЫЕ БУНЗЕНОМ И КИРХГОФОМ КАК ХАРАКТЕРНЫЕ

Для ПАРОВ

ОТКРЫТИЕ РУБИДИЯ, ЦЕЗИЯ И ТАЛЛИЯ

ОТНОШЕНИЕ ИЗЛУЧЕНИЯ К ПОГЛОЩЕНИЮ

ЛИНИИ ФРАУНГОФЕРА

ИХ ОБЪЯСНЕНИЕ КИРХГОФОМ

ВКЛЮЧЕННАЯ В ЭТО ОБЪЯСНЕНИЕ СОЛНЕЧНАЯ ХИМИЯ

ЭКСПЕРИМЕНТ ФУКО

ПРИНЦИПЫ ПОГЛОЩЕНИЯ

АНАЛОГИЯ ЗВУКА И СВЕТА

ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНАЯ ДЕМОНСТРАЦИЯ ЭТОЙ АНАЛОГИИ

НЕДАВНИЕ ПРИМЕНЕНИЯ СПЕКТРОСКОП

КРАТКОЕ ИЗЛОЖЕНИЕ И ЗАКЛЮЧЕНИЕ.

В этих лекциях мы использовали в качестве источника света концы двух стержней кокса, раскаленных под действием электричества. Кокс особенно подходит для этой цели, поскольку он может выдерживать сильное нагревание без плавления или испарения. Оно также черное, что способствует освещению; ибо при прочих равных условиях, как экспериментально показал профессор Бальфур Стюарт, чем чернее тело, тем ярче будет его свет при накаливании. И все же, каким бы тугоплавким ни был углерод, если мы внимательно изучим нашу вольтову дугу, или поток света между угольными точками, мы обнаружим там раскаленные пары углерода. И если бы мы могли отделить свет этого пара от более ослепительного света твердых точек, мы бы обнаружили, что его спектр не только менее яркий, но и имеет совершенно иной характер по сравнению со спектрами, которые мы уже видели. Вместо непрерывной последовательности цветов от красного до фиолетового, пары углерода образовывали бы несколько цветных полос с темными промежутками между ними.

То, что верно в отношении углерода, в еще более поразительной степени верно и в отношении металлов, наиболее тугоплавкие из которых могут быть расплавлены, сварены и превращены в пар с помощью электрического тока. От паров накаливании свет, как правило, вспыхивает группами лучей определенной степени преломления, при этом между группами существуют промежутки, которые не заполнены лучами любого вида. Но рассмотрение фактов сделает этот предмет более понятным, чем это могут сделать слова. Теперь внутри камеры помещен цилиндр из углерода, выдолбленный сверху; в углубление помещен фрагмент металлического таллия. К этому мы подводим верхнюю углеродную точку, а затем отделяем одно от другого. Между ними проходит поток раскаленных паров таллия, увеличенное изображение которого теперь видно на экране. Он красивого зеленого цвета. Что означает этот зеленый цвет? Мы отвечаем на этот вопрос, подвергая свет призматическому анализу. Видно, что его спектр, прошедший через призму, состоит из одной преломленной полосы. Свет с одной степенью преломления, соответствующей этому конкретному зеленому цвету, излучается парами таллия.

Теперь мы удалим таллий и заменим его небольшим количеством серебра. Цвет серебра нельзя отличить от цвета таллия; он не только зеленый, но и того же оттенка зеленого. Значит, они похожи? Призматический анализ позволяет нам ответить на этот вопрос. Как бы ни было невозможно отличить один цвет от другого, столь же невозможно спутать *спектр* раскаленных паров серебра с спектром таллия. В случае с серебром у нас есть две зеленые полосы вместо одной.

Если мы добавим к серебру в нашей камере немного таллия, то получим свет обоих металлов. Подождав немного, мы видим, что зеленый цвет таллия находится посередине между двумя зелеными цветами серебра. Отсюда и это сходство цвета.

Но почему мы должны "немного подождать", прежде чем увидим этот эффект? Полоса таллия поначалу почти скрывает полосы серебра из-за своей превосходной яркости. Действительно, серебряные полосы чудесным образом выродились с тех пор, как в них было добавлено немного таллия, и по причине, которую стоит знать. Именно *сопротивление*, оказываемое прохождению электрического тока от углерода к углероду, вызывает силу тока для выработки тепла. Если бы сопротивление было существенно уменьшено, то и тепло было бы существенно уменьшено; а если бы всякое сопротивление было устранено, тепла не было бы вообще. Итак, таллий - гораздо более легкоплавкий и испаряемый металл, чем серебро; и его пары облегчают прохождение электричества до такой степени, что делают ток почти неспособным испарять более тугоплавкое серебро. Но таллий постепенно расходуется; его испарение уменьшается, сопротивление возрастает, пока, наконец, вы не увидите две серебряные полосы такими же блестящими, какими они были вначале.^[24]

В этих полосах мы имеем совершенно неизменную характеристику двух металлов. Вы никогда не получите других полос, кроме этих двух зеленых, из серебра, никогда, кроме единственной зеленой полосы из таллия, никогда, кроме трех зеленых полос из смеси обоих металлов. Каждый известный металл имеет свои особые полосы, и ни в одном известном случае полосы двух разных металлов не похожи по преломляемости. Следовательно, из этих спектров следует, что они могут служить надежным тестом на присутствие или отсутствие какого-либо конкретного металла. Если мы перейдем от металлов к их сплавам, мы не обнаружим никакой путаницы. Медь дает зеленые полосы; цинк дает синие и красные полосы; латунь — сплав меди и цинка — дает полосы обоих металлов, совершенно неизменные по положению или характеру.

Но мы не ограничиваемся самими металлами; *соли* этих металлов образуют полосы металлов. Химическое соединение разрушается при достаточно высокой температуре; пары металла высвобождаются, и образуются характерные полосы. Хлориды металлов особенно подходят для экспериментов такого характера. Обычная соль, например, представляет собой соединение хлора и натрия; в электрической лампе она дает спектр металлического натрия. Хлориды меди, лития и стронция аналогичным образом образуют полосы этих металлов.

Поэтому, когда Бунзен и Кирхгоф, прославленные основатели *спектрального анализа*, после исчерпывающего изучения спектров всех известных веществ, обнаружили спектр, содержащий полосы, отличные от любых известных полос, они немедленно сделали вывод о существовании нового металла. В то время они работали с осадком, полученным при выпаривании одной из минеральных вод Германии. Они знали, что в этой воде скрыт неизвестный металл, но огромное его количество должно было быть выпарено, прежде чем можно было получить остаток, достаточно большой, чтобы обычная химия могла справиться с металлом. Они, однако, выследили его, и теперь он фигурирует среди химических веществ как металл *рубидий*. Впоследствии они открыли второй металл, который называли *цезием*. Таким образом, впервые поставив спектральный анализ на надежную основу, они продемонстрировали его способность к открытиям. Вскоре после этого м-р Крукс, применяя тот же метод, открыл ярко-зеленую полосу *таллия* и получил соли металла, из которого она получена. Сам металл был впервые выделен в слитки французским химиком М. Лами.

Все это связано с химическими открытиями на земле, где материалы находятся в наших собственных руках. Но вскоре было показано, как спектральный анализ может быть применен к исследованию солнца и звезд; и этот результат был достигнут благодаря решению проблемы,

которая долгое время оставалась загадкой для натурфилософов. Теперь мы должны попытаться понять масштабы и решение этой проблемы. Спектр - это *чистый* спектр, в котором цвета не перекрывают друг друга. Мы очищаем спектр, сужая наш луч и увеличивая количество наших призм. Когда таким образом был получен чистый спектр солнца, оказалось, что он испещрен бесчисленными темными линиями. Четыре из них впервые увидел доктор Волластон, но впоследствии они были умножены и измерены Фраунгофером с таким мастерством, что теперь они повсеместно известны как линии Фраунгофера. Дать объяснение этим строкам было, как я уже говорил, проблемой, которая долгое время привлекала внимание философов, и профессору Кирхгофу принадлежит честь первого решения этой проблемы.

(Положения главных линий, обозначенных буквами в соответствии с Фраунгофером, показаны на прилагаемом эскизе солнечного спектра (рис. 55). Предполагается, что А стоит рядом с крайним красным цветом, а J - рядом с крайним фиолетовым.)



Рис. 55.

Краткий мемуар на двух страницах, в котором зафиксировано это бессмертное открытие, был направлен в Берлинскую академию 27 октября 1859 года. Фраунгофер заметил в спектре пламени свечи две яркие линии, которые точно совпадают по положению с двойной темной линией D солнечного спектра. Эти яркие линии с особой интенсивностью создаются желтым

пламенем, получаемым из смеси соли и спирта. На самом деле это линии паров натрия. Кирхгоф создал спектр, позволив солнечному свету проникать в его телескоп через щель и призму, а перед щелью он поместил желтое натриевое пламя. Пока спектр оставался слабым, на месте двух темных линий D спектра всегда появлялись две яркие линии, исходящие от пламени. В этом случае такое поглощение солнечного света, как пламя, было более чем компенсировано излучением пламени. Однако, когда солнечный спектр стал достаточно интенсивным, яркие полосы исчезли, и две темные линии Фраунгофера проявились с гораздо большей четкостью, чем когда пламя не использовалось.

Следует отметить, что этот результат был получен не из-за какого-либо реального гашения ярких линий пламени, а из-за увеличения интенсивности смежного спектра. Эксперимент продемонстрировал, что когда белый свет, пропускаемый через пламя, был достаточно интенсивным, количество, поглощаемое пламенем, намного превышало то, которое оно излучало.

Таким образом, перед нами результат чрезвычайной важности. Кирхгоф сразу же сделал из этого вывод, что соляное пламя, которое могло так замечательно усилить темные линии Фраунгофера, также должно было *создавать* их. Известно, что в спектре света Драммонда присутствуют две яркие линии натрия, которые, однако, постепенно исчезают по мере истощения небольшого количества натрия, содержащегося в качестве примеси в извести накаливания. Кирхгоф сформировал спектр света, и после того, как две яркие линии исчезли, он поместил свое соляное пламя перед щелью. Две темные линии немедленно выступили вперед. Таким образом, в непрерывном спектре белого света он искусственно воспроизвел линии D Фраунгофера.

Кирхгоф знал, что это действие не свойственно натриевому пламени, и он немедленно распространил свое обобщение на все цветные языки пламени, которые дают четко очерченные яркие полосы в своих спектрах. Он предположил, что белый свет со всеми его составляющими, пропущенный через такое пламя, будет поглощать именно те составляющие, преломляемость которых такая же, как у ярких полос; так что после прохождения через такое пламя белый свет, если он достаточно интенсивен, будет иметь в своем спектре полосы темноты. В упомянутом здесь случае Кирхгофу также удалось обратить вспять яркую полосу лития.

Давняя сложность линий Фраунгофера рухнула в присутствии подобных фактов и размышлений, которые также несли с собой неизмеримо расширение возможностей химика. Кирхгоф увидел, что из совпадения линий в спектрах земных веществ с линиями Фраунгофера можно сразу сделать вывод о присутствии этих веществ на солнце и неподвижных звездах. Таким образом, темные линии D в солнечном спектре доказывали существование натрия в атмосфере солнца; в то время как яркие линии, обнаруженные Брюстером в пламени селитры, которые, как было доказано, точно совпадали с определенными темными линиями между A и B в солнечном спектре, доказывали существование калия на солнце.

Все последующие исследования подтвердили точность этих первых смелых выводов. В своей второй работе, переданной в Берлинскую академию перед закрытием 1859 года, Кирхгоф доказал существование железа на солнце. Светлые линии спектра паров железа чрезвычайно многочисленны, и Кирхгоф впоследствии доказал, что 65 из них абсолютно идентичны по положению 65 темным линиям Фраунгофера. Ангстрем и Тален увеличили количество

совпадений до 450 для железа, в то время как, согласно тем же превосходным исследователям, следующие числа выражают совпадения в случае соответствующих металлов, к которым они прикреплены:—

Кальций	75
Бария	11
Магния	4
Марганца	57
Титана	118
Хрома	18
Никеля	33
Кобальта	19
Водорода	4
Алюминия	2
Цинка	2
Меди	7

Вероятность того, что все эти вещества существуют в атмосфере Солнца, огромна.

Открытие Кирхгофа глубоко изменило представления, ранее существовавшие относительно строения солнца, приведя его к взглядам, которые, хотя они могут быть изменены в деталях, останутся, я полагаю, в значительной степени актуальными до скончания времен. Солнце, согласно Кирхгофу, состоит из расплавленного ядра, которое окружено пылающей атмосферой с более низкой температурой. Ядро может, частично, представлять собой *облака*, смешанные с настоящим паром или лежащие под ним. Свет ядра дал бы нам непрерывный спектр, подобный спектру света Драммонда; но, проходя через фотосферу, как луч Кирхгофа проходил через натриевое пламя, те лучи ядра, которые излучает фотосфера, поглощаются, и в спектре появляются заштрихованные линии, соответствующие поглощенным лучам. Исключите солнечное ядро, и мы получим спектр, показывающий яркую линию на месте каждой темной линии Фраунгофера, точно так же, как во втором эксперименте Кирхгофа мы получили бы яркие натриевые линии пламени, если бы был удален свет извести. Следовательно, эти линии Фраунгофера не абсолютно темные, но темные на величину, соответствующую разнице между перехваченным светом и светом, излучаемым фотосферой.

Почти к каждому великому научному открытию многие умы подходят одновременно, и тот факт, что один ум обычно придает ему отчетливость демонстрации, является иллюстрацией не изолированного гения, а гения заранее. Таким образом, Фуко в 1849 году подошел к открытию Кирхгофа. Приблизив изображение солнца к электрической дуге и, таким образом, получив наложенные спектры солнца и электрической дуги, он обнаружил, что две яркие линии, которые из-за присутствия небольшого количества натрия в углеродах или в воздухе видны в спектре электрической дуги, совпадают с темными линиями D солнечного спектра. Он обнаружил, что линии D значительно усиливаются при прохождении солнечного света через вольтову дугу.

Вместо изображения солнца Фуко затем спроецировал на дугу изображение одной из твердых раскаленных углеродных точек, которая сама по себе давала бы непрерывный спектр; и он

обнаружил, что таким образом в этом спектре были *генерированы* линии D. Вывод Фуко из этого замечательного эксперимента заключался в том, что "электрическая дуга представляет собой среду, которая испускает лучи D сама по себе и в то же время поглощает их, когда они исходят с другой стороны". Здесь он остановился. Он не расширил свои наблюдения за пределы вольтовой дуги; он не предложил никакого объяснения линий Фраунгофера; он не пришел к какой-либо концепции солнечной химии или строения солнца. Его прекрасный эксперимент оставался бесплодным, пока десять лет спустя распознавание целого класса явлений, к которому он относится, не позволило Кирхгофу решить эти великие проблемы.

Вскоре после публикации открытия Кирхгофа профессор Стоукс, который также за десять лет до открытия почти предвосхитил его, позаимствовал иллюстрацию из звука, чтобы объяснить взаимность излучения и поглощения. Натянутая струна реагирует на воздушные колебания, которые синхронизируются с ее собственными. Большое количество таких струн, растянутых в пространстве, примерно представляло бы среду; и если бы общая для всех них нота прозвучала на расстоянии, они подхватили бы или поглотили ее вибрации.

Когда скрипичный смычок проводится по этому камертону, комната немедленно наполняется музыкальным звуком, который можно рассматривать как *излучение* или *эмиссию* звука из вилки. Несколько дней назад, прослушивая эту вилку, я заметил, что когда ее вибрации были погашены, звук, казалось, продолжался, хотя и более слабый. Более того, казалось, что он доносится из-под дальнего стола, где стояло несколько камертонов разного размера и частоты вибрации. Один из них, и только один, был запущен зондирующей вилкой, и это был тот, частота вибрации которого была такой же, как у вилки, которая его запустила. Это пример *поглощения* звука одной вилки другой. Поместив две гармонизирующие вилки рядом друг с другом, проведя смычком по одной из них, а затем погасив возбужденную вилку, другая продолжает звучать; эта вторая может повторно возбудить первую, и таким образом может быть осуществлено несколько передач звука между двумя вилками. Помещая по центру на каждый зубец одной из вилок, мы нарушаем ее идеальную синхронизацию с другой, и тогда подобная передача звука от одной к другой невозможна.

Теперь я должен представить вам в подходящем масштабе демонстрацию того, что мы можем сделать с помощью *света* то, что здесь было сделано со звуком. В течение нескольких дней в 1861 году я пытался добиться этого, но лишь с частичным успехом. В железную посуду помещали смесь разбавленного спирта и соли и нагревали, чтобы ускорить испарение. Пар воспламенялся, и через полученное таким образом желтое пламя пропусклся луч от электрической лампы; но можно было получить слабое затемнение только желтой полосы проецируемого спектра. Затем был сделан желоб, который при добавлении соли и спирта давал пламя толщиной в десять футов; но результат прохождения света через пламя такой глубины все равно был неудовлетворительным. Вспомнив, что прямое сгорание натрия в пламени Бунзена дает гораздо более интенсивный желтый цвет, чем пламя соли, и заключив, что интенсивность цвета указывает на обилие паров накаливания, я направил луч электрической лампы сквозь пламя металлического натрия. Успех был полным, и теперь я хочу повторить этот эксперимент в вашем присутствии. [\[25\]](#)

Во-первых, вы замечаете, что когда кусочек натрия помещают в платиновую ложку и помещают в пламя Бунзена, возникает интенсивно желтый свет. По преломляемости он соответствует желтой полосе спектра. Подобно нашему камертону, он излучает волны особого периода. Когда

белый свет от электрической лампы проходит через это пламя, у вас будет наглядное доказательство того, что желтое пламя перехватывает желтый цвет спектра; другими словами, что оно поглощает волны того же периода, что и его собственные, создавая, таким образом, по сути дела, темную полосу Фраунгофера на месте желтого.

Перед щелью (в точке L, рис. 56), через который выходит луч, размещена горелка Бунзена (b), защищенная дымоходом (C). Этот луч, пройдя через линзу, пересекает призму (P) (в реальном эксперименте была пара призм), там разлагается и образует на экране яркий непрерывный спектр (S S). Если поместить платиновую ложку с гранулой натрия в пламя Бунзена, гранула сначала расплавляется, окрашивает пламя в ярко-желтый цвет и, наконец, начинает бурное горение. В тот же момент спектр пересекает интенсивно темная полоса (D) шириной два дюйма и длиной два фута. Быстрое введение и отвод натриевого пламени позволяет наиболее поразительным образом наблюдать внезапное появление и исчезновение темной полосы. По контрасту с соседней яркостью эта полоса кажется абсолютно черной, настолько сильным является поглощение. Чернота, однако, лишь относительна, ибо на темное пространство падает часть света натриевого пламени.

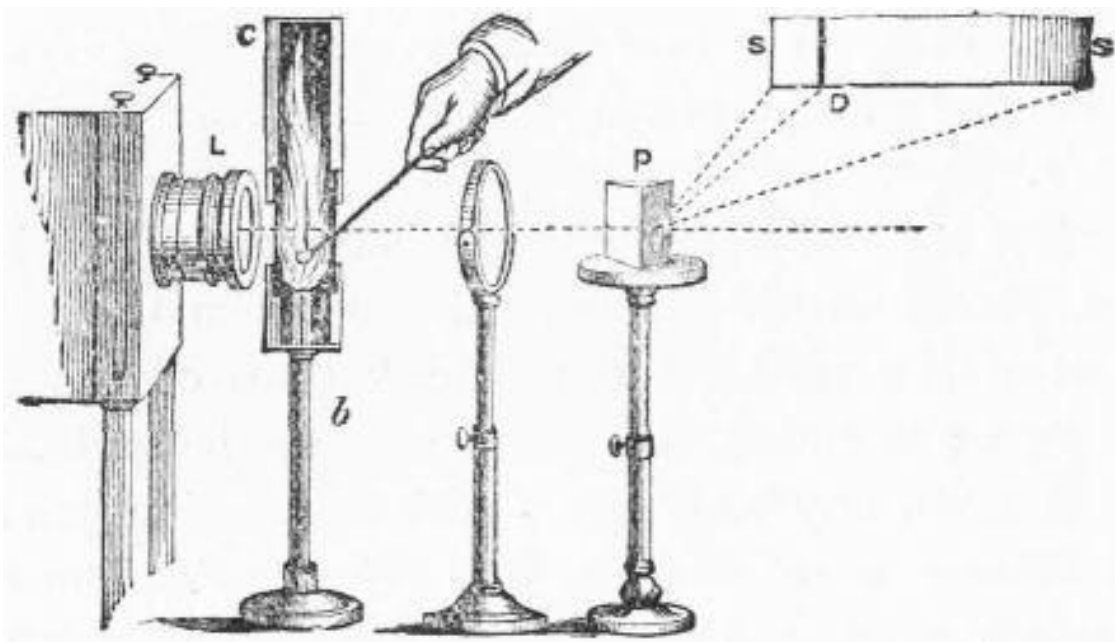


Рис. 56.

Я уже упоминал об эксперименте Фуко; но другие исследователи также занимались границами этой темы до того, как ею занялись Бунзен и Кирхгоф. С некоторыми изменениями я в предыдущем случае использовал следующие слова, касающиеся предшественников открытия спектрального анализа и химии солнца: "Мистер Тальбот наблюдал яркие линии в спектрах цветного пламени, и оба, и он, и сэр Джон Гершель, указали на возможность превращения призматического анализа в химический тест чрезвычайно тонкой, хотя и не полной достоверности. Более четверти века назад доктор Миллер представил рисунки и описания спектров пламени различных цветов. Уитстон с присущей ему проницательностью проанализировал свет электрической искры и доказал, что металлы, между которыми проходила искра, определяли яркие полосы в ее спектре. В исследовании, описанном Кирхгофом как "классическое", Свон показал, что 1/2 500 000 гран натрия в пламени Бунзена можно обнаружить по его спектру. Он также доказал постоянство ярких линий в спектрах

углеводородных пламен. Массон опубликовал эссе о полосах индукционной искры, удостоенное премии; в то время как Ван дер Виллиген, а совсем недавно и Плюкер, также предоставили нам прекрасные рисунки спектров, полученных из того же источника.

Но ни один из этих выдающихся людей не проявил ни малейшего представления о связи между яркими полосами металлов и темными линиями солнечного спектра; нельзя сказать, что спектральный анализ был поставлен на какую-либо надежную основу до исследований Бунзена и Кирхгофа. Человеком, который в опубликованной статье ближе всего подошел к философии предмета, был Ангстрем. В этой статье, переведенной мной и опубликованной в "Философском журнале" за 1855 год, он указывает, что лучи, которые поглощает тело, - это именно те лучи, которые оно может испускать, когда светится. В другом месте он говорит об одном из своих спектров, создающем общее впечатление *оинверсии* солнечного спектра. Но его мемуары, какими бы философскими они ни были, отчетливо отмечены неопределенностью его времени. Фуко, Томсон и Бальфур Стюарт - все были близки к открытию, в то время как, как уже говорилось, оно едва не пострадало от острой, но неопубликованной гипотезы Стокса".

Как в умственном, так и в физическом плане каждый год старения мира является результатом всех предыдущих лет. Наука доказывает, что она является подлинным продуктом Природы, развиваясь в соответствии с этим законом. Здесь у нас нет решения проблемы преемственности. Ко всем великим открытиям должным образом готовятся двумя способами: во-первых, другими открытиями, которые являются их прелюдией; и, во-вторых, обострением пытливого интеллекта. Таким образом, Птолемей вырос из Гиппарха, Коперник - из обоих, Кеплер - из всех трех, а Ньютон - из всех четырех. Ньютон не поднялся внезапно с уровня моря интеллекта на свою поразительную высоту. В то время, когда он появился, плоскогорье знаний уже находилось высоко. Он, правда, возвышается над плоскогорьем, как массивная вершина; тем не менее его поддерживает плато, и большая часть его абсолютной высоты - это высота человечества в его время. Так обстоит дело с открытиями Кирхгофа. Многое было достигнуто ранее; этим он овладел, а затем силой индивидуального гения вышел за рамки этого. Он заменил неопределенность определенностью, расплывчатость - определенностью, беспорядок - порядком; и я не думаю, что Ньютон имеет большее право на открытия, обессмертившие его имя, чем Кирхгоф, которому принадлежит честь собрать фрагментарные знания своего времени, значительно расширить их и вдохнуть в них жизнь великих принципов.

Еще одним моментом мы завершим наши иллюстрации принципов солнечной химии. Из-за рассеяния света веществом, механически плавающим в атмосфере Земли, солнце видится не резко очерченным, а окруженным ярким сиянием. Итак, громкий шум заглушит шепот, интенсивный свет заглушит слабый, и поэтому этот околосолнечный блик мешает нам увидеть множество поразительных явлений вокруг границы солнца. Яркий свет исчезает во время полных затмений, когда луна проходит между землей и солнцем, и тогда виден ряд розовых выпуклостей, простирающихся иногда на десятки тысяч миль за темный край Луны. Они описаны Вассениусом в "Философских трудах" за 1733 год; и, вероятно, наблюдались еще раньше. В 1842 году они привлекли к себе большое внимание, и тогда их сравнивали с альпийскими снежными вершинами, покрасневшими под лучами вечернего солнца. То, что эти протуберанцы представляют собой пылающий газ, и в основном газообразный водород, было впервые доказано М. Янссеном во время затмения, наблюдавшегося в Индии 18 августа 1868 года.

Но протуберанцы могут быть видны при солнечном свете; и по причине, которую легко понять. Вы видели на этих лекциях одну призму, используемую для получения спектра, и вы видели, как использовалась пара призм. В последнем случае рассеянный белый свет, рассеянный примерно на вдвое большей площади, имел пропорционально разбавленные все его цвета. Вы также видели одну призму и пару призм, использованных для создания полос раскаленных паров; но здесь свет каждой полосы, будучи абсолютно монохроматическим, не мог быть дополнительно рассеян второй призмой и, следовательно, не мог быть ослаблен таким рассеянием.

Примените эти соображения к околосолнечной области. Сияние белого света вокруг солнца может быть рассеяно и ослаблено в любой степени путем увеличения числа призм; в то время как монохроматический свет, смешанный с этим сиянием и замаскированный им, сохранял бы свою интенсивность, не ослабленную рассеиванием. На этом соображении был основан метод наблюдения, независимо примененный М. Янссеном в Индии и м-ром Локьером в Англии, с помощью которого монохроматические полосы протуберанцев достигают совершенства и проявляются среди бела дня. Тщательно и умело исследуя окрестность солнца, м-р Локьер доказал, что эти протуберанцы являются всего лишь локальными выступами огненной оболочки, которая полностью окружает солнце и которую он называл *Хромосферой*.

Это уводило бы нас далеко за пределы предмета этих лекций, если бы мы остановились на многочисленных интересных и важных результатах, полученных Секки, Респиги, Янгом и другими выдающимися людьми, которые работали над химией солнца и его придатков. В настоящее время я не могу сделать ничего большего, кроме как вскользь упомянуть о превосходных трудах доктора Хаггинса в связи с неподвижными звездами, туманностями и кометами. Они больше, чем какие-либо другие, иллюстрируют буквальную истину утверждения о том, что создание спектрального анализа и объяснение линий Фраунгофера привели к неизмеримому расширению диапазона химиков. По-настоящему мощные опыты профессора Дьюара ежедневно добавляем к нашим знаниям, а изысканная исследовательская работа капитана Эбни и другие открытия новых областей исследования. Но моя цель здесь - разъяснить принципы, а не следовать деталям их иллюстрации.

РЕЗЮМЕ И ЗАКЛЮЧЕНИЕ.

Моим желанием в этих лекциях было показать вам, с как можно меньшим нарушением преемственности, кое-что о прошлом росте и настоящем аспекте научного направления, в котором трудились одни из величайших интеллектов, когда-либо виденных миром. Я стремился придать каждому эксперименту особую интеллектуальную ценность, поскольку эксперименты должны быть представителями и толкователями мысли - языком, обращенным к глазу, как произносимые слова - к уху. В соответствии со своим контекстом нет ничего более впечатляющего или поучительного, чем удачный эксперимент; но, помимо своего контекста, он скорее соответствует цели фокусника удивить, чем цели образования, которое должно быть главным мотивом человека науки.

А теперь не лишним будет краткое изложение нашей работы. Наше нынешнее господство над законами и явлениями света берет свое начало в желании человека *знать*. Мы видели, как древние занимались этой проблемой, но, подобно ребенку, который бесцельно орудует руками из-за отсутствия необходимой мускульной тренировки, так и эти древние люди рассуждали смутно о природных явлениях, не обладая дисциплиной, необходимой для придания ясности их

пониманию и твердости их пониманию принципов. Они убедились в прямолинейном распространении света и в том, что угол падения равен углу отражения. На протяжении более тысячи лет — я бы даже сказал, более полутора тысяч лет — научный интеллект выглядит как бы пораженным параличом, поскольку факт заключается в том, что в течение этого времени умственная сила, которая могла бы быть направлена в направлении науки, была направлена в другие стороны.

Ход исследований, касающихся света, был возобновлен в 1100 году арабским философом по имени Альхазен. Затем этим занялись последовательно Роджер Бэкон, Вителлио и Кеплер. Эти люди, хотя и не смогли обнаружить принципы, которые управляли фактами, постоянно поддерживали огонь исследования. Затем произошло фундаментальное открытие Снелла, этот краеугольный камень оптики, как я уже назвал его, и сразу после этого мы имеем применение Декартом открытия Снелла к объяснению радуги. Вслед за этим мы имеем опровержение Ремером представления Декарта о том, что свет мгновенно распространяется в пространстве. Затем последовали коронные эксперименты Ньютона по анализу и синтезу белого света, с помощью которых было доказано, что он состоит из различных видов света с разной степенью преломления.

До своей демонстрации состава белого света Ньютон повсюду торжествовал — торжествовал на небесах, торжествовал на земле, и его последующие экспериментальные работы, по большей части, имеют бессмертную ценность. Но непогрешимость не является атрибутом человека, и вскоре после своего открытия природы белого света Ньютон доказал, что он человек. Он предположил, что преломление света и хроматическая дисперсия идут рука об руку и что нельзя устранить одно, не уничтожив в то же время другое. Тут Доллонд поправил его.

Но Ньютон совершил более серьезную ошибку, чем эта. Наука, как я стремился разъяснить вам в нашей второй лекции, лишь частично зависит от чувств. Корни явлений находятся в области, недоступной чувствам, и меньшее, чем корень вопроса, никогда не удовлетворит научный ум. Соответственно, в этой области оптики мы находим величайших умов, постоянно стремящихся выйти за пределы чувств и проследить явления до их субчувственной основы. Побуждаемые таким образом, они вступили в область теории, и здесь Ньютона, хотя и тянуло время от времени к истине, еще сильнее тянуло к ошибке; и он сделал ошибку своим существенным выбором. Его эксперименты вечны, но его теория ушла в прошлое. В течение столетия это стояло подобно плотине на пути открытий; но, как и во всех барьерах, которые опираются на авторитет, а не на истину, давление сзади усилилось и в конце концов снесло барьер.

В 1808 году Малус, глядя сквозь исландский шпат на солнце, отражающееся от окна Люксембургского дворца в Париже, обнаружил поляризацию света за счет отражения. Как говорилось в то время, это открытие ознаменовало самый темный час в судьбе волновой теории. Но тьма не продолжалась. В 1811 году Араго открыл великолепные хроматические явления, которые мы проиллюстрировали поведением гипсовых пластинок в поляризованном свете; он также открыл вращение плоскости поляризации кристаллами кварца. В 1813 году Зеебек открыл поляризацию света турмалином. В том же году Брюстер обнаружил великолепные цветные полосы, окружающие оси двукосных кристаллов. В 1814 году Волластон обнаружил кольца исландского шпата. Все эти эффекты, которые без теоретической подсказки оставили бы человеческий разум в джунглях явлений, лишенных гармонии или взаимосвязи, были органично связаны теорией волнообразности.

Волновая теория применялась и проверялась во всех направлениях, причем Эйри особенно выделялся серьезностью и убедительностью своих доказательств. Самое замечательное подтверждение выпало на долю покойного сэра Уильяма Гамильтона из Дублина, который, продолжая теорию там, где ее оставил Френель, пришел к выводу, что в четырех особых точках "волновой поверхности" в кристаллах с двойным преломлением луч разделяется не на две части, а на бесконечное количество частей; образуя в этих точках непрерывную коническую оболочку вместо двух изображений. Ни один человеческий глаз никогда не видел этого конверта, когда сэр Уильям Гамильтон предположил о его существовании. Он попросил доктора Ллойда экспериментально проверить истинность его теоретического заключения. Ллойд, взяв кристалл арагонита и следуя с самой скрупулезной точностью указаниям теории, ограняя кристалл там, где теория говорила, что его следует огранять, наблюдая за ним там, где теория говорила, что его следует наблюдать, обнаружил светящуюся оболочку, которая ранее была простой идеей в уме математика.

Тем не менее эта великая теория волнообразности, как и многие другие истины, которые в конечном итоге оказались благословением для человечества, должна была путем горячего конфликта утвердить свое право на существование. Против него выстроились знаменитые имена. Это было сформулировано Гуком, это былоразъяснено и применено Гюйгенсом, это было защищено Эйлером. Но они не произвели никакого впечатления. И, действительно, теории в их руках не хватало убедительности демонстрации. Впервые она приняла форму доказанной истины в руках Томаса Янга. Он направил волны света друг на друга, заставляя их поддерживать друг друга и гасить друг друга по желанию. Исходя из их взаимных действий, он определил их длину и применил свои знания во всех направлениях. В конце концов он показал, что трудность поляризации уступает место пониманию теории.

После него пришел Френель, чьи выдающиеся математические способности позволили ему придать теории общность, недостижимую Янгом. Он ухватил его во всей полноте; последовал за эфиром в сердца кристаллов сложнейшей структуры и в тела, подверженные напряжению и давлению. Он показал, что факты, открытые Малусом, Араго, Брюстером и Био, были, так сказать, ганглиями его теоретического организма, черпая из него пищу и объяснение. Обладая разумом, слишком сильным для тела, с которым оно было связано, это тело превратилось в развалину задолго до того, как состарилось, и Френель умер, оставив, однако, после себя имя, бессмертное в анналах науки.

Еще одно слово я хотел бы сказать о Френеле. Есть вещи даже лучше науки. Характер выше интеллекта, но тем, кто хочет хорошо думать о человеческой природе, особенно приятно, когда сочетаются высокий интеллект и честный характер. Они сочетались в этом молодом французе. В тех горячих конфликтах волновой теории он проявил себя как честный человек, не претендующий ни на что, кроме своего права, и готовый уступить свои права другим. Он сразу же распознал и признал достоинства Томаса Янга. Действительно, именно он и его соотечественник Араго первыми заставили Англию осознать несправедливость, допущенную по отношению к Янгу в "Эдинбургском обозрении".

Я хотел бы зачитать вам краткую выдержку из письма, написанного Френелем Янгу в 1824 году, поскольку оно проливает приятный свет на характер французского философа. "Долгое время, - говорит Френель, - та чувствительность, или то тщеславие, которое люди называют любовью к славе, были во мне сильно притуплены. Я гораздо меньше тружусь для того, чтобы заручиться

поддержкой публики, чем для того, чтобы получить то внутреннее одобрение, которое всегда было самой сладкой наградой за мои усилия. Без сомнения, в моменты отвращения и уныния я часто нуждался в подстегивании тщеславия, чтобы продолжить свои исследования. Но все комплименты, которые я получал от Араго, Де ла Пласа и Био, никогда не доставляли мне такого удовольствия, как открытие теоретической истины или подтверждение расчетов экспериментальным путем".

Таким образом, в этом заключается суть всего вопроса с точки зрения науки. Ее нужно культивировать ради нее самой, ради чистой любви к истине, а не ради аплодисментов или прибыли, которые она приносит. И теперь моя профессия в Америке почти закончилась. Тем не менее я попрошу вас проявить терпимость к нескольким заключительным замечаниям в отношении людей, которые завещали нам обширную совокупность знаний, о которых я пытался дать вам некоторое представление в этих лекциях. Какой мотив подстегивал их? Что побуждало их к тем битвам и победам над скрытной Природой, которые стали наследием человеческой расы? Никогда не следует забывать, что ни один из этих великих исследователей, от Аристотеля до Стокса и Кирхгофа, не преследовал какой-либо практической цели в соответствии с обычным определением слова "практичный". Они не считали деньги целью, а знания - средством ее получения. По большей части они благородно обратили этот процесс вспять, сделав знания своей целью и те деньги, которыми они располагали, средствами их получения.

Сегодня мы видим результаты их работы в тысяче практических форм, и этого можно считать достаточным, чтобы оправдать, если не облагородить, их усилия. Но они работали не над такими проблемами; их награда была совершенно иного рода. В чем отличие? Мы любим одежду, мы любим роскошь, мы любим прекрасное снаряжение, мы любим деньги, и любой человек, который может указать на это как на результат своих жизненных усилий, оправдывает эти результаты перед всем миром. В Америке и Англии, в особенности, он "практичный" человек. Но я бы с уверенностью обратился к этой ассамблее, исчерпывают ли подобные вещи требования человеческой природы? Само присутствие здесь в течение шести ненастных ночей этой замечательной аудитории, воплощающей в себе столько ментальной силы и утонченности этого огромного города,^[26] является ответом на мой вопрос. Мне нет нужды говорить такому собранию, что есть радости интеллекта, так же как и радости тела, или что эти радости духа были наградой нашим великим исследователям. Ведомые шепотом естественной истины, преодолевая боль и самоотречение, они часто продолжали свою работу. С господствующей страстью, сильной после смерти, некоторые из них, когда уже не могли держать перо, диктовали своим друзьям последние результаты своих трудов, а затем отдыхали от них навсегда.

Если бы мы могли видеть этих людей за работой, не имея никакого представления о последствиях их работы, что бы мы о них подумали? Непосвященному в свое время они часто могли показаться большими детьми, играющими с мыльными пузырями и другими безделушками. Так обстоит дело и по сей день. Если бы вы могли понаблюдать за настоящим исследователем — например, за вашим Генри или Дрейпером — в его лаборатории, вы вряд ли смогли бы понять, что удерживает его там, если бы не его дух. Многие объекты, которые клепают его внимание может показаться вам совершенно тривиально; и если вы спросите у него, в чем польза от его работы, то вероятность того, что вы хотели посрамить его. Возможно, он не

сможет выразить смысл этого в понятных терминах. Возможно, он не сможет заверить вас, что это положит доллар в карман любого человека, присутствующего здесь или грядущего. История науки убедительно доказывает, что научное открытие *может* принести не только доллары в карманы отдельных людей, но и миллионы в казну наций; но надежда на это никогда не была и не может быть движущей силой исследователя.

Я знаю, что говорить так перед практичными людьми рискованно. Я знаю, что говорит о вас Де Токвиль. "Человек Севера, - говорит он, - обладает не только опытом, но и знаниями. Он, однако, не относится к науке как к удовольствию и с жадностью принимает ее только тогда, когда она приводит к полезным применениям." Но каковы, я хотел бы спросить, надежды на полезные приложения, которые столько раз заставляли вас заполнять это место, несмотря на снежные заносы и пронизывающий холод? Могу я спросить, откуда взялась та доброта, которая побудила меня оторваться от моей работы в Лондоне и обратиться к вам здесь, и которая, если бы я позволил, привела бы меня домой миллионером? Не потому, что я научил вас зарабатывать наукой ни цента, я здесь сегодня вечером, а потому, что я изо всех сил старался представить науку миру как интеллектуальное благо. Несомненно, никакие два термина никогда не были так искажены и неправильно применены по отношению к человеку в его высших отношениях, как эти термины "полезный" и "практичный". Давайте расширим наши определения до тех пор, пока они не охватят все потребности человека, включая его высшие интеллектуальные потребности. Именно на том основании, что наука служит высшим потребностям интеллекта; главным образом потому, что я считаю ее полезной не только как источник знаний, но и как средство дисциплины, я обращаю ваше внимание на требования науки.

Но что касается материальных потребностей и радостей, то, несомненно, чистой науке тоже есть что сказать. Иногда люди говорят так, как будто пар не изучался до Джеймса Уатта или электричество до Уитстона и Морзе; тогда как на самом деле Уатт, Уитстон и Морзе, при всей их практичности, были простым результатом предшествующих сил, которые действовали без привязки к практическим целям. Это тоже, я думаю, заслуживает минутного внимания. Вы восхищены, и не без оснований, вашими электрическими телеграфами, гордитесь своими паровыми машинами и фабриками и очарованы произведениями фотографии. Вы ежедневно с восторгом наблюдаете за созданием новых форм промышленности — новых возможностей для увеличения благосостояния и комфорта общества. Промышленная Англия переполнена силами, стремящимися к этой цели; и пульс промышленности бьется еще сильнее в Соединенных Штатах. И все же, если проанализировать, что такое индустриальная Америка и индустриальная Англия?

Если вы можете терпеть свободу слова с моей стороны, я отвечу на этот вопрос иллюстрацией. Обнажите сильную руку и обратите внимание на напряженные мышцы, когда кисть сжата в кулак, а рука согнута. Является ли это проявление энергии работой одной только мышцы? Ни в коем случае. Мышца - это канал воздействия, без которого она была бы бессильна, как комок пластичного теста. Это тонкий невидимый нерв, который раскрывает силу мышцы. И без этих нитей гениальности, которые первооткрыватель протянул, как нервы, через все тело общества, индустриальная Америка и индустриальная Англия были бы в значительной степени в состоянии пластичного теста.

В настоящее время в Англии раздается призыв к техническому образованию, и к этому призыву может присоединиться самый заурядный интеллект, настолько очевидна его необходимость. Но

нет такого призыва к оригинальному исследованию. Тем не менее, без этого, как ручей иссякает, когда умирает родник, так и "техническое образование" наверняка потеряет всю силу роста, всю способность к воспроизводству. Наши великие исследователи на какое-то время дали нам достаточно работы; но если их дух угаснет, мы в конце концов окажемся в положении тех китайцев, о которых упоминал Де Токвиль, которые, забыв научное происхождение того, что они делали, в конце концов были вынуждены копировать без изменений изобретения более мудрых предков, черпавших вдохновение непосредственно в Природе.

И у Англии, и у Америки есть основания помнить об этих вещах, поскольку масштабность и близость материальных результатов, скорее всего, заставят обе страны забыть о незначительном духовном начале таких результатов в сознании научного первооткрывателя. Вы размножаетесь, а он творит. И если вы заморите его голодом или иным образом убьете — более того, если вы не сумеете обеспечить ему свободу действий и поощрение, — вы не только потеряете движущую силу интеллектуального прогресса, но и неизбежно оторвете себя от источников индустриальной жизни.

То, что было сказано о технических операциях, в равной степени относится и к образованию, поскольку и здесь первоначальный исследователь является источником знаний. Придать этим знаниям необходимую форму - почетная и часто трудная задача - принадлежит учителю. Но это задача, которая получает свое окончательное освящение, когда сам учитель честно пытается добавить ручеек в великий поток научных открытий. Действительно, можно усомниться в том, что реальная жизнь науки может быть полностью прочувствована и передана человеку, который сам не был обучен непосредственному общению с Природой. Правда, мы можем получать хорошие и поучительные лекции от способных людей, все знания которых почерпнуты из вторых рук, точно так же, как мы можем получать хорошие и поучительные проповеди от интеллектуально способных и невозрожденных людей. Но ради той силы науки, которая соответствует тому, что отцы-пуритане называли бы экспериментальной религией в сердце, вы должны подняться к первоначальному исследователю.

Чтобы поддерживать здоровый образ жизни общества в том, что касается науки, необходимы три класса работников: во-первых, исследователи естественной истины, призвание которых состоит в том, чтобы преследовать эту истину и расширять область открытий ради самой истины и без привязки к практическим целям. Во-вторых, учитель естественной истины, чье призвание состоит в том, чтобы публично распространять знания, уже добытые первооткрывателем. В-третьих, тот, кто применяет естественную истину, чье призвание - делать научные знания доступными для нужд, комфорта и роскоши цивилизованной жизни. Эти три класса должны сосуществовать и взаимодействовать. Так вот, популярное понятие науки, как в нашей стране, так и в Англии, часто относится не к науке в строгом смысле этого слова, а к ее практическому применению. Подобные приложения, особенно на этом континенте, настолько поразительны — они настолько широко и впечатляюще распространяются перед глазами общественности, — что часто закрывают от посторонних глаз тех сотрудников, которые занимаются более тихим и глубоким делом проведения оригинальных исследований.

Возьмем в качестве примера электрический телеграф, который в последнее время неоднократно привлекал мое внимание. Я здесь ни в малейшей степени не для того, чтобы принижать заслуги тех, кто в Англии и Америке придал телеграфу форму, столь чудесно приспособленную для общественного пользования. Они заслужили великую награду, и они ее

получили. Но я был бы неправ по отношению к вам и к самому себе, если бы не сказал вам, что, какими бы высокими в определенных отношениях ни были их притязания и качества, ваши практичные люди не открывали электрический телеграф. Открытие электрического телеграфа подразумевает открытие самого электричества и развитие его законов и явлений. Такие открытия делаются не практичными людьми и никогда ими не будут сделаны, потому что их умы переполнены идеями, которые, хотя и имеют наивысшую ценность с одной точки зрения, не являются теми, которые стимулируют первооткрывателя.

Древние открыли электричество янтаря; и Гилберт в 1600 году распространил это открытие на другие тела. Затем последовали Бойль, Фон Герике, Грей, Кантон, Дю Фэй, Клейст, Кунеус и ваш собственный Франклин. Но их форма электричества, хотя и была испытана, не нашла применения в телеграфных целях. Затем появился великий итальянец Вольта, который открыл источник электричества, носящий его имя, и применил к его разработке самое глубокое понимание и самое тонкое экспериментальное мастерство. Затем возник человек, который добавил к силам своего интеллекта всю прелесть человеческого сердца, Майкл Фарадей, первооткрыватель великой области магнитоэлектричества. Эрстед обнаружил отклонение магнитной стрелки, а Араго и Стерджен - намагничивание железа электрическим током. Вольтова цепь, наконец, нашла своего теоретического Ньютона в Оме; в то время как Генри из Принстона, у которого хватило проницательности признать достоинства Ома, хотя они все еще подвергались осуждению в его собственной стране, в это время находился в авангарде экспериментальных исследований.

В работах этих людей вы имеете все материалы, используемые в данный момент, во всех формах электрического телеграфа. Более того, Гаусс, знаменитый астроном, и Вебер, знаменитый натурфилософ, оба профессора Геттингенского университета, желая установить быстрый способ связи между обсерваторией и физическим кабинетом университета, сделали это с помощью электрического телеграфа. Таким образом, до того, как на сцене появились ваши практики, сила была открыта, ее законы исследованы и удостоверены, было достигнуто наиболее полное владение ее феноменами — более того, продемонстрирована ее применимость для телеграфных целей — людьми, единственной наградой за их труды было благородное возбуждение от исследования и радость, сопутствующая открытию естественной истины.

Должны ли мы игнорировать все это? Мы делаем это на свой страх и риск. Ибо я снова говорю, что за всеми нашими практическими приложениями стоит область интеллектуальной деятельности, в которую практичные люди редко вносили свой вклад, но из которой они черпают все свои ресурсы. Отсеките их от этого региона, и они в конечном итоге станут беспомощными. Ни в коем случае поговорка "Другие люди трудились, но вы участвуете в их трудах" не является более верной, чем в случае с открывателем и применителем естественной истины. Но теперь несколько слов с другой стороны. Хотя практические люди не из тех, кто делает необходимые предшествующие открытия, случаи редки, хотя и в наши дни нередки, когда первооткрыватель знает, как использовать свои труды на практике. В этих двух случаях обычно требуются различные качества ума и привычки мышления; и хотя я хочу со всей определенностью заявить о претензиях тех, чье положение из-за простого факта их интеллектуальной возвышенности часто неправильно понимают, я здесь не для того, чтобы превозносить один класс работников за счет другого. Они являются необходимым дополнением друг к другу. Но помните, что обязательно нужно позаботиться об одном классе. Все

материальные блага общества уже находятся в пределах их досягаемости, в то время как то же самое общество обычно приписывает им интеллектуальные достижения, которые им никогда не принадлежали. Это не может не нанести ущерб тем исследованиям, из которых выросло не только наше знание природы, но и само наше нынешнее промышленное искусство и от которых растущий гений страны постоянно отвлекается.

Пастер, один из самых выдающихся членов Института Франции, рассказывая о катастрофическом поражении своей страны и преобладании Германии в последней войне, выражает себя так: "Немногие люди понимают истинное происхождение чудес промышленности и богатства наций. Мне не нужно никаких дополнительных доказательств этого, кроме использования, все более и более частого, в официальном языке и в разного рода трудах, ошибочного выражения *прикладная наука*. Недавно в присутствии министра величайшего таланта было выражено сожаление по поводу отказа от научной карьеры людьми, способными достойно заниматься ею. Государственный деятель попытался показать, что мы не должны удивляться такому результату, потому что *наши дни господство теоретической науки уступило место господству прикладной науки*. Ничто не может быть более ошибочным, чем это мнение, ничто, осмелюсь сказать, более опасным даже для практической жизни, чем последствия, которые могут вытекать из этих слов. Они запечатлелись в моем сознании как доказательство настоятельной необходимости реформы нашего высшего образования. Не существует категории наук, которой можно было бы с полным правом присвоить название прикладной науки. *У нас есть наука и ее приложения*, которые объединены воедино, как дерево и его плоды".

И Кювье, великий сравнительный анатом, пишет на ту же тему: "Эти грандиозные практические нововведения представляют собой простое применение истин более высокого порядка, к которым стремятся не с практической целью, а ради них самих и исключительно из жажды знаний. Те, кто применял их, не могли их обнаружить; но те, кто их обнаружил, не имели ни малейшего желания использовать их с практической целью. Занятые в высоких сферах, куда уносили их мысли, они едва ли осознавали эти практические проблемы, хотя и порожденные их собственными делами. Эти растущие мастерские, эти населенные колонии, эти корабли, бороздящие моря, это изобилие, эта роскошь, этот шум — все это происходит от научных открытий, и все это остается странным для первооткрывателей. В тот момент, когда наука переходит в практику, они отказываются от нее; это их больше не касается".

Когда Отцы-пилигримы высадились в Плимут-Роке и когда Пенн заключил свой договор с индейцами, новоприбывшим пришлось строить свои дома, возделывать землю и заботиться о своих душах. В таком сообществе о науке, в ее более абстрактных формах, не следовало и думать. И в настоящее время, когда ваши отважные западные первопроходцы стоят лицом к лицу с упрямой Природой, преодолевая горы и покоряя леса и прерии, не следует ожидать стремления к науке ради нее самой. Первая потребность человека - это пища и кров; но огромная часть этого континента уже поднята намного выше этой потребности. Джентльмены из Нью-Йорка, Бруклина, Бостона, Филадельфии, Балтимора и Вашингтона уже построили свои дома, и они очень красивы; они также обеспечили свои обеды, о превосходстве которых я также могу свидетельствовать. Фактически, они достигли того точного состояния благополучия и независимости, когда культура, столь высокая, какой еще не достигло человечество, может быть справедливо востребована в их руках. Как обладатели богатства и досуга, они достигли той

зрелости, когда исследователь естественной истины, ради самой истины, должен найти среди них покровителей.

Среди множества стоящих перед ними проблем, которые им предстоит решить, является вопрос о том, способна ли республика воспитать высшие формы гениальности. Вы знакомы с трудами Де Токвиля и должны знать о глубокой симпатии, которую он испытывал к вашим учреждениям; и эта симпатия тем более ценна, что он с философской прямоотой указывает не только на ваши достоинства, но и на ваши недостатки и опасности. Теперь, если я приеду сюда, чтобы говорить о науке в Америке в критическом и придиричливом духе, невидимое излучение моих слов и манер позволит вам раскусить меня и определит ваше отношение ко мне сегодня вечером. Но если я не в недружелюбном духе — в духе, прямо противоположном недружелюбию, — рискну повторить перед вами то, что этот великий историк и аналитик демократических институтов сказал об Америке, я убежден, что вы меня выслушаете. Он писал двадцать три года назад и, возможно, не стал бы писать то же самое сегодня; но никому не повредит, если его слова будут повторены и, при необходимости, приняты близко к сердцу.

В работе, опубликованной в 1850 году, Де Токвиль говорит: "Следует признать, что среди цивилизованных народов нашего века мало найдется мест, где высшие науки достигли столь незначительного прогресса, как в Соединенных Штатах".[27] Он заявляет о своей убежденности в том, что, если бы вы были одни во вселенной, вы бы вскоре обнаружили, что вы не можете долго добиваться прогресса в практической науке, одновременно не развивая теоретическую науку. Но, согласно Де Токвилю, вы не так одиноки. Он отказывается отделять Америку от ее прародины; и именно там, утверждает он, вы собираете сокровища интеллекта, не утруждая себя их созданием.

Де Токвиль, очевидно, сомневается в способности демократии воспитывать гениев так, как это было в древних аристократиях. "Будущее, - говорит он, - покажет, может ли страсть к глубоким знаниям, столь редкая и столь плодотворная, так же легко зародиться и развиться в демократических обществах, как и в аристократических. Что касается меня, - продолжает он, - я с трудом могу в это поверить". Он говорит о беспокойной лихорадке демократических сообществ не во времена сильного волнения, поскольку такие времена могут дать необычайный импульс идеям, а во времена мира. Затем, по его словам, возникает "небольшое и неприятное возбуждение, своего рода непрекращающееся противостояние человека с человеком, которое беспокоит и отвлекает ум, не придавая ему ни возвышенности, ни одушевления". От вас зависит доказать, обязательно ли это так - может ли научный гений найти среди вас спокойный дом.

Мне не хотелось бы перечить столь проницательному наблюдателю и столь глубокому политическому писателю, но с момента моего прибытия в эту страну я не смог увидеть в устройстве общества ничего такого, что могло бы помешать студенту, видящему в себе корень проблемы, отдавать самую непоколебимую преданность чистой науке. Если в Америке не достигнуты великие научные результаты, я был бы склонен приписать этот недостаток не мелким волнениям в обществе, а тому факту, что люди среди вас, обладающие способностями, необходимыми для глубокого научного исследования, обременены административными обязанностями или обучением, настолько тяжелыми, что они совершенно несовместимы с непрерывной и спокойной медитацией, которой требует первоначальное исследование. Вполне может возникнуть вопрос, превратился бы Генри в администратора или Дрейпер оставил бы науку, чтобы писать историю, если бы первоначальный исследователь был удостоен

подобающих ему почестей в этой стране. Я вряд ли думаю, что они бы это сделали. И все же я не думаю, что такое положение вещей продлится долго. В Америке есть готовность отдельных людей посвятить свои состояния в области образования служению содружеству, которое, вероятно, нигде не имеет аналогов; и эта готовность требует лишь мудрого руководства, чтобы вы могли эффективно стереть упрек Де Токвиля.

Ваша самая трудная проблема будет заключаться не в создании институтов, а в поиске мужчин. Вы можете возводить лаборатории и снабжать их; вы можете снабдить их всеми приборами, необходимыми для проведения исследований; поступая таким образом, вы всего лишь создаете возможность для применения сил, которые приходят из источников, совершенно недоступных вам. Вы не можете создать гения, предлагая за него цену. Выражаясь библейским языком, это дар Божий; и самое большее, что вы могли бы сделать, будь ваше богатство и ваша готовность применить его в миллион раз больше, чем они есть, - это убедиться, что у этого великолепного растения будут свобода, свет и тепло, необходимые для его развития. Время от времени мы видим благородное дерево, утащенное бегунами-паразитами. Садовник может убрать их, хотя жизненная сила самого дерева может оказаться ему неподвластной: и поэтому во многих случаях вы, богатые люди, можете освободить гений от обременительных забот, которые часто накладывает на него борьба за существование.

Привлеченный вашей добротой, я приехал сюда, чтобы прочитать эти лекции, и теперь, когда мой визит в Америку почти отошел в прошлое, я оглядываюсь на него как на воспоминание без единого пятнышка. Ни один лектор никогда не был вознагражден так, как я. Однако с этой точки зрения позвольте мне напомнить вам, что работа лектора - это не самая высокая работа; что в науке лектор обычно является распределителем интеллектуального богатства, накопленного лучшими людьми. И хотя чтение лекций и преподавание в умеренных количествах в целом будет способствовать их моральному здоровью, ваши лучшие люди должны быть наняты не только или даже главным образом в качестве лекторов, но и в качестве исследователей. Среди вас есть научный гений — не посеянный в эфир, поверьте мне, он нигде не посеян, но все еще рассеян здесь и там. Уберите с его пути все ненужные препятствия. Не спускайте своего сочувственного взгляда с создателя знания. Предоставьте ему свободу, необходимую для его исследований, не перегружая его ни обязанностями по обучению, ни административными обязанностями, не требуя от него так называемых практических результатов — прежде всего, избегая того вопроса, который невежество так часто задает гению: "В чем польза от вашей работы?" - Позвольте ему сделать истину своей целью, какой бы непрактичной она ни казалась на данный момент. Если вы бросите свой хлеб таким образом в воду, будьте уверены, он вернется к вам, хотя и через много дней.

ПРИЛОЖЕНИЕ.

О СПЕКТРАХ ПОЛЯРИЗОВАННОГО СВЕТА.

Несколько лет назад мистер Уильям Споттисвуд представил членам Королевского института в очень яркой форме серию экспериментов по изучению спектров поляризованного света. С помощью своих больших призм Николя он в первую очередь повторил и объяснил эксперименты Фуко и Физо, а впоследствии обогатил предмет своими собственными прекрасными дополнениями. Здесь я привожу отрывок из его выступления:

"Хорошо известно, что если поместить достаточно тонкую пластинку селенита между двумя призмами Николя, или, говоря более технически, между поляризатором и анализатором, будет получен цвет. И предлагается вопрос: какова природа этого цвета? это просто чистый цвет спектра или это соединение, и если да, то каковы его составные части? Ответ, который дает волновая теория, вкратце таков: при прохождении через селенитовую пластинку лучи были настолько разделены по направлению своих колебаний и скорости прохождения, что при повторном соединении с помощью анализатора они в некоторых случаях нейтрализовали друг друга. Если это так, то факт должен быть виден, когда луч, выходящий из анализатора, рассеивается призмой; ибо тогда у нас есть лучи всех различных цветов, расположенные рядом, и, если таковые имеются, их отсутствие будет показано появлением темной полосы на их месте в спектре. Но не только это; спектр также должен давать представление о других явлениях, проявляемых селенитом при вращении анализатора, а именно. что при угле поворота, равном 45° , все следы цвета исчезают; а также что при угле, равном 90° , цвет появляется снова, однако не первоначальный, а дополняющий его.

"Вы видите в спектре красноватого света, производимого селенитом, широкую, но темную полосу на синем фоне; когда анализатор поворачивают, полоса становится все менее и менее темной, пока, когда угол поворота не достигнет 45° , она полностью не исчезнет. На этом этапе каждая часть спектра имеет свою собственную пропорциональную интенсивность, и в целом получается бесцветное изображение, видимое без спектроскопа. Наконец, по мере продолжения поворота анализатора в красном диапазоне появляется темная полоса, часть спектра, дополнительная к той, которую занимает первая полоса; и темнота становится наиболее полной при повороте на 90° . Таким образом, мы получаем от спектроскопа полный отчет о том, что произошло для получения исходного цвета и его изменений.

Также хорошо известно, что цвет, получаемый селенитом или другой кристаллической пластинкой, зависит от толщины пластины. И действительно, если взять серию пластинок, дающих разные цвета, то в их спектрах обнаруживаются полосы, расположенные в разных положениях. На более тонких пластинах видны полосы в частях спектра, ближайших к фиолетовому, где волны короче и, следовательно, дают начало более красным цветам; в то время как на более толстых видны полосы ближе к красному, где волны длиннее и, следовательно, дают более синие оттенки.

"Когда толщину пластины постоянно увеличивают, так что полученный цвет проходит полный цикл спектра, дальнейшее увеличение толщины вызывает воспроизведение цветов в том же порядке; но следует заметить, что при каждом повторении цикла оттенки становятся бледнее, пока по прошествии ряда циклов толщина пластины не станет значительной, все следы цвета не исчезнут. Давайте теперь возьмем серию пластин, первые две из которых, как вы видите,

дают цвета; на других, последовательно более толстых, оттенки настолько слабые, что их едва можно различить. Спектр первого показывает одну полосу; спектр второго - две; это показывает, что вторая серия оттенков не идентична первой, но что она возникает в результате исчезновения двух цветов из компонентов белого света. Спектры других показывают серии полос, которые становятся все более многочисленными пропорционально толщине пластины, и их количество может увеличиваться бесконечно. Таким образом, общий свет, которого лишают спектр более толстые пластины, берется из большего числа его частей; или, другими словами, свет, который все еще остается, распределяется по спектру все более равномерно; и в той же пропорции его общая сумма все больше и больше приближается к белому свету.

Эти эксперименты были проведены более тридцати лет назад французскими философами, М. Фуко и Физо.

Если вместо селенита, исландского шпата или других обычных кристаллов мы используем пластины кварца, ограненные перпендикулярно оси, и поворачиваем анализатор, как раньше, то свет, вместо того чтобы демонстрировать только один цвет и дополнять его промежуточной стадией, на которой цвет отсутствует, непрерывно меняет оттенок; и порядок цвета зависит частично от направления, в котором повернут анализатор, и частично от характера кристалла, *т.е.* правша он или левша. Если мы исследуем спектр в этом случае, мы обнаружим, что темная полоса никогда не исчезает, а переходит от одного конца спектра к другому, или *наоборот*, именно в таком направлении, чтобы вызвать оттенки, видимые при прямой проекции.

Поляризация, создаваемая кварцевыми пластинками, называется круговой, в то время как поляризация, создаваемая другим классом кристаллов, называется плоской из-за формы колебаний, производимых молекулами эфира; и это заставляет нас немного внимательнее изучить природу поляризации различных частей этих спектров поляризованного света.

Теперь ясно две вещи: во-первых, если свет плоскополяризован, то есть если все колебания по всему лучу прямолинейны и находятся в одной плоскости, то они должны во всех своих направлениях относиться к определенному направлению в пространстве, так что различные положения анализатора будут по-разному влиять на них. Во-вторых, если колебания будут круговыми, на них будет оказываться совершенно одинаковое воздействие (каким бы оно ни было) во всех положениях анализатора. Это утверждение просто резюмирует фундаментальный момент поляризации. Фактически, плоскополяризованный свет попеременно пропускается и гаснет анализатором при повороте на 90° ; в то время как свет с круговой поляризацией (если бы мы могли получить один луч) остается внешне неизменным. И если мы внимательно изучим спектр света, прошедшего через селенит или другой обычный кристалл, мы обнаружим, что, начиная с расположения двух последовательных полос, части, занятые полосами, и те, что посередине между ними, плоскополяризованы, поскольку они становятся попеременно темными и яркими; в то время как промежуточные части, *т.е.* части, расположенные на расстоянии одной четвертой части расстояния от одной полосы до следующей, остаются постоянно яркими. На самом деле они поляризованы по кругу. Но было бы неверно делать вывод только из этого эксперимента, что это действительно так, потому что тот же вид был бы виден, если бы эти части были неполяризованными, *т.е.* в условиях обычного освещения. И на основании такого предположения мы должны с равной справедливостью заключить, что части по обе стороны от частей, упомянутых последними (например, части, разделенные восьмью долями интервала между двумя полосами), были частично поляризованы. Но существует

инструмент очень простой конструкции, называемый "пластиной с четвертью волны", пластина обычно из слюды, толщина которой нечетно кратна четверти длины волны, что позволяет нам различать неполяризованный и циркулярно поляризованный свет. Точный механический эффект, оказываемый на луч, вряд ли может быть подробно объяснен в наши нынешние временные рамки; но пока достаточно сказать, что при установке в надлежащее положение пластина преобразует плоскую поляризацию в круговую, а круговую - в плоскую поляризацию. Таким образом, части, которые изначально были окантованы полосами, должны оставаться яркими, а те, которые изначально оставались яркими, должны становиться окантованными при вращении анализатора. Следовательно, общим эффектом для глаза будет общее смещение полос на одной четвертой части пространства, разделяющего каждую пару.

'Круговая поляризация, как и круговое движение в целом, может, конечно, быть двух видов, которые отличаются только направлением движения. И, фактически, чтобы преобразовать круговую поляризацию, создаваемую этой пластинкой, с одного из этих типов на другой (скажем, с правосторонней на левостороннюю или *наоборот*), нам нужно всего лишь повернуть пластину на 90° . И наоборот, правосторонняя круговая поляризация будет изменена пластиной на плоскую поляризацию в одном направлении, в то время как левосторонняя будет изменена на плоскую под прямым углом к первой. Следовательно, если пластину повернуть на 90° , мы увидим, что полосы сдвинуты в направлении, противоположном тому, в котором они были сдвинуты вначале. Таким образом, у нас есть доказательства не только того, что поляризация непосредственно по обе стороны полосы является круговой; но также и того, что поляризация непосредственно с одной стороны является правосторонней, в то время как поляризация непосредственно с другой стороны является левосторонней[28].

Если бы время позволяло, я мог бы углубиться в детали еще больше и показать, что поляризация между плоскостью и кругом эллиптическая, и даже определить положения более длинной и более короткой осей и направление движения в каждом случае. Но, пожалуй, было сказано достаточно для нашей нынешней цели.

Прежде чем перейти к более разнообразным формам спектральных полос, которые я надеюсь вскоре представить вашему вниманию, я хотел бы попросить вас уделить несколько минут особому явлению, проявляющемуся при использовании двух пластин селенита, придающих дополнительные цвета. Внешний вид спектра меняется в зависимости от взаимного расположения пластин. Если они расположены подобным образом, то есть как если бы они были одной кристаллической пластинкой, они будут вести себя как единая пластинка, толщина которой равна сумме толщин каждой из них, и будут создавать вдвое больше полос, чем могла бы дать одна; и когда анализатор повернут, полосы исчезнут и снова появятся в своих взаимодополняющих положениях, как обычно в случае плоской поляризации. Если один из них повернуть на 45° , то в определенном месте спектра будет видна единственная полоса. Она распадается на две, которые отходят друг от друга к красному и фиолетовому концам соответственно или продвигаются навстречу друг другу в зависимости от направления, в котором повернут анализатор. Если повернуть пластину на 45° в противоположном направлении, эффект будет обратным. Однако затемнение полос не является одинаково полным на протяжении всего их прохождения. Наконец, если повернуть одну из пластин на 90° , полос видно не будет, а спектр будет попеременно ярким и темным, как если бы пластины не использовались, за исключением того, что сама поляризация повернута на 90° .

"Если использовать кристалл клиновидной формы, полосы вместо прямых будут пересекать спектр по диагонали, причем направление диагонали (правее или левее) определяется положением более толстого конца клина. Если использовать два одинаковых клинья самыми толстыми концами вместе, они будут действовать как клин, угол наклона и толщина которого вдвое больше первого. Если их поместить в обратное положение, они будут действовать как плоская пластинка, и полосы снова будут пересекать спектр прямыми линиями под прямым углом к его длине.

Если используется вогнутая пластина, полосы будут располагаться веерообразно, их расхождение зависит от расстояния разреза от центра вогнутости.

Если два кварцевых клинья, у одного из которых оптическая ось параллельна краю огнеупорного уголка, а у другого перпендикулярна ему, но расположены в одной из плоскостей, содержащих угол (компенсатор Бабинне), появление полос будет очень различным.

Диагональные полосы, помимо того, что иногда удваиваются, как у обычных клиньев, иногда комбинируются, образуя продольные (а не поперечные) полосы; а иногда пересекаются друг с другом, образуя рисунок подгузника с яркими отделениями в темной рамке, *и наоборот*, в зависимости от положения пластин.

"Эффекты различного расположения вставленных кристаллов могут варьироваться бесконечно; но, возможно, было сказано достаточно, чтобы показать тонкость метода спектрального анализа, применяемого к исследованию поляризованного света".

Необычный и красивый эффект, полученный с помощью круглой пластины из селенита, тонкой в центре и постепенно утолщающейся к окружности, легко связать с аналогичным эффектом, полученным с кольцами Ньютона. Пусть тонкий луч света упадет на стекла, на которых видны кольца, так, чтобы осветить узкую центральную вертикальную зону, проходящую через все них. Изображение этой зоны на экране пересекают участки колец радужной оболочки. Подвергая отраженный луч призматическому анализу, результирующий спектр можно рассматривать как неопределенное количество изображений зоны, размещенных рядом. На изображении до рассеивания у нас есть *радужные кольца*, при этом исчезновение света нигде не является полным; но когда различные цвета разделяются дисперсией, каждый цвет пересекается поперечно своей собственной системой темных интерференционных полос, которые постепенно сближаются с увеличением преломляемости света. Таким образом, весь спектр, кажется испещренным системой непрерывных темных полос, пересекающих цвета поперечно и приближающихся друг к другу по мере перехода от красного к синему.

В случае пластины из селенита перед поляризатором расположена щель, а селенитовую пленку держат близко к щели, так что свет проходит через центральную зону пленки. Как и в случае с кольцами Ньютона, изображение зоны пересекают полосы цвета радужной оболочки; но при воздействии призматического рассеяния свет зоны дает спектр, прорезанный полосами полной темноты, точно так же, как в случае с кольцами Ньютона, и по аналогичной причине. Это прекрасный эффект, описанный мистером Споттисвудом как веерообразное расположение полос — веер, раскрывающийся на красном конце спектра.

ИЗМЕРЕНИЕ СВЕТОВЫХ ВОЛН.

Дифракционные полосы, описанные в лекции II, вместо того, чтобы формироваться на сетчатке, могут формироваться на экране или на матовом стекле, когда на них можно смотреть через увеличительную линзу сзади, или их можно наблюдать в воздухе, когда матовое стекло удалено. Вместо того чтобы позволять им формироваться на сетчатке, мы предположим, что они формируются на экране. Это дает нам возможность понять, даже без тригонометрии, решение важной проблемы измерения длины световой волны.

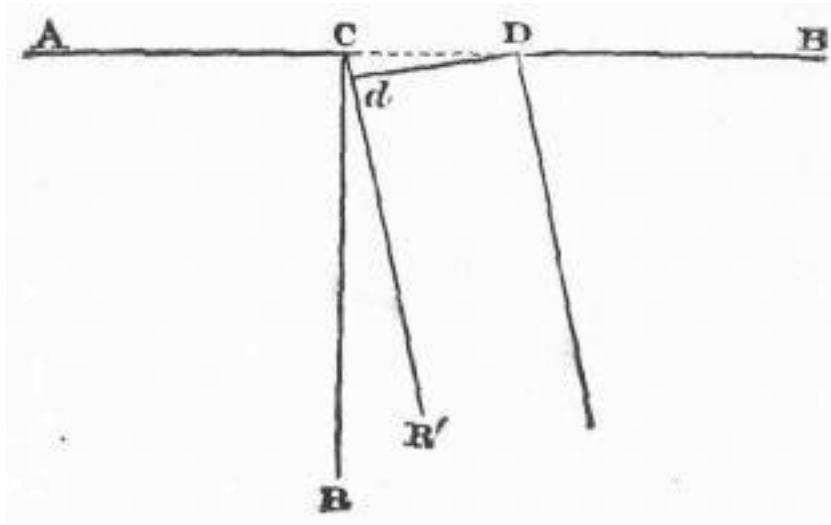


Рис. 57.

Мы предположим, что экран находится на таком расстоянии, что лучи, падающие на него от двух краев щели, ощутимо параллельны. Мы узнали из лекции II, что первая из темных полос соответствует различию краевого пути одной волнистости; вторая темная полоса - различию пути двух волнистостей; третья темная полоса - различию трех волнистостей и так далее. Теперь можно точно измерить угловое расстояние полос от центра; это расстояние зависит, как уже говорилось, от ширины щели. При ширине щели 1,35 миллиметра, [29] Шверд обнаружил, что угловое расстояние первой темной полосы от центра поля равно 1,38 дюйма; угловые расстояния второй, третьей, четвертой темных полос в два, три, четыре раза превышают эту величину.

Пусть АВ, рис. 57, будет пластиной, в которой вырезана щель, а С D - сильно увеличенной шириной щели, из которой исходит луч красного света под наклоном, соответствующим первой темной полосе. Перенесем перпендикуляр от одного края, D, щели на краевой луч другого края в точку d. Расстояние, C d, между основанием этого перпендикуляра и другим краем равно длине световой волны. Более того, угол C D d, равный R c r', в рассматриваемом сейчас случае равен 1'38". От центра D, используя ширину Dc в качестве радиуса, опишите полукруг; его радиус Dc равен 1,35 миллиметра, длина этого полукруга, как легко вычислить, равна 4,248 миллиметра. Длина C d настолько мала, что практически совпадает с дугой окружности. Следовательно, длина полукруга равна длине волны C d от 180 ° до 1'38", или, если свести все к секундам, от 648,000" до 98". Таким образом, мы имеем пропорцию—

648,000 : 98 :: 4,248 к длине волны C d.

Произведя расчет, мы находим, что длина волны для этого конкретного вида света равна 0,000643 миллиметра, или 0,000026 дюйма.

СНОСКИ:

[1] Среди которых особенно можно упомянуть покойного сэра Эдмунда Хеда, Барта., с которым у меня было много бесед на эту тему.

[2] Мне доставляет удовольствие заявить, что я всегда испытывал благородное и либеральное обращение.

[3] Одно из самых ранних из них пришло от мистера Джона Эмори Лоуэлла из Бостона.

[4] Впоследствии будет показано, как это простое устройство может быть использовано для определения "угла поляризации" жидкости.

[5] Из этого принципа сэр Джон Гершель простым и элегантным способом выводит фундаментальный закон отражения.—См. *Знакомые лекции*, стр. 236.

[6] Низкая рассеивающая способность воды маскирует, как заметил Гельмгольц, несовершенный ахроматизм глаза. Невооруженным глазом я вижу далекий синий диск, четко очерченный, но не красный. Я также вижу линии, обозначающие верхнюю и нижнюю границы горизонтально преломленного спектра, четкие на синем конце, но нечеткие на красном. Если спроецировать светящийся диск на экран и закрыть один полукруг отверстия красным, а другой - синим или зеленым стеклом, то разница между видимыми размерами двух полукругов в моем случае, как и во многих других, необычайна. Однако многие люди видят, что видимые размеры двух полукругов поменялись местами. Если с помощью очкового стекла скорректировать рассеивание красного света на сетчатке, то синий перестает давать четко очерченное изображение. При таком рассмотрении отклонение глаза от ахроматизма действительно кажется очень грубым.

[7] Как у листьев, так и у цветов наблюдаются поразительные различия в поглощении. Бук медный и бук зеленый, например, принимают разные лучи. Но сам рост дерева обусловлен некоторыми из поглощенных таким образом лучей. Значит, химические лучи в меди и зеленом буке одинаковы? Одинаковы ли химически активные лучи у двух таких цветов, как примула и фиалка, у которых поглощение, судя по цветам, почти взаимодополняющее? Общая связь цвета с химическим действием заслуживает применения метода, с помощью которого доктор Дрейпер так убедительно доказал химическую силу желтых лучей солнца.

[8] Янг, Гельмгольц и Максвелл сводят все различия в оттенках к комбинациям трех основных цветов в разных пропорциях. Экспериментально доказано, что из красного, зеленого и фиолетового можно получить все остальные цвета спектра.

Несколько лет назад сэр Чарльз Уитстон привлек мое внимание к работе Кристиана Эрнста Вюнша, Лейпциг, 1792, в которой автор выдвигает предположение, что в белом свете нет ни пяти, ни семи, а только трех простых цветов. Вюнш изготовил пять спектров с пятью призмами и пятью маленькими отверстиями и смешал цвета сначала попарно, а затем другими способами и пропорциями. Его результат заключается в том, что красный - это *простой* цвет, не поддающийся разложению; что оранжевый состоит из интенсивного красного и слабозеленого; что желтый представляет собой смесь интенсивного красного и интенсивного

зеленого; что зеленый - это *простой* цвет; что синий состоит из насыщенного зеленого и насыщенного фиолетового; что индиго представляет собой смесь насыщенного фиолетового и слабозеленого; в то время как фиолетовый - чистый *простой* цвет. Он также обнаружил, что желтый и синий цвета индиго дают *белый* цвет в результате их смешивания. Желтый, смешанный с ярко-синим (Hochblau), также дает белый, который, однако, кажется, имеет оттенок зеленого, в то время как пигменты этих двух цветов при смешивании всегда дают более или менее красивый зеленый цвет, Вюнш очень решительно отличает смесь пигментов от смеси светлых. Говоря о возникновении желтого, он говорит: "Я говорю определенно о *красном и зеленом свете*, потому что я говорю о светлых тонах (Lichtfarben), а не о пигментах". Какими бы ошибочными ни были его теории, эксперименты Вюнша в основном кажутся точными и убедительными. Почти десять лет спустя Янг принял красный, зеленый и фиолетовый в качестве трех основных цветов, каждый из которых способен вызывать три ощущения, одно из которых, однако, преобладает над двумя другими. Гельмгольц принимает, разъясняет и обогащает это понятие. (*Популярные лекции*, стр. 249. Статья Гельмгольца о смешении цветов, переведенная мной, опубликована в *Philosophical Magazine* за 1852 год. Мемуары Максвелла о теории сложных цветов опубликованы в *Philosophical Transactions*, том 150, стр. 67.)

[9] Следующий очаровательный отрывок, касающийся этого пункта, был обнаружен и выписан для меня моим глубоко опечаленным другом доктором Бенсом Джонсом, когда достопочтенный Дж. Секретарь Королевского учреждения:—

"В каждом виде величины есть степень или сорт, которым соразмерны наши чувства, восприятие и знание которых приносят человечеству величайшую пользу. То же самое является основой философии; ибо, хотя все виды и степени в равной степени являются объектом философских спекуляций, все же именно из тех, которые соответствуют смыслу, философ должен исходить в своих исследованиях, поднимаясь или нисходя впоследствии, в зависимости от того, чего могут потребовать его занятия. Он действительно поступает правильно, рассматривая свои взгляды со многих точек зрения и восполняя недостатки чувств с помощью хорошо отрегулированного воображения; он также не должен быть ограничен какими-либо рамками в пространстве или времени; но, поскольку его познание Природы основано на наблюдении чувственных вещей, он должен начинать с них и часто возвращаться к ним, чтобы оценить свой прогресс с их помощью. Здесь его надежное убежище: и когда он отправляется оттуда, то, если он также не будет часто с осторожностью отступать назад, он рискует заблудиться в лабиринтах Природы". — (*Маклорен: Отчет о философских открытиях сэра И. Ньютона. Написано в 1728 году; второе издание, 1750; стр. 18, 19.*)

[10] Я не хочу загромождать концепцию здесь деталями механизма, но я могу привлечь внимание к прекрасной модели профессора Дж. Лаймана, в котором показано, что волны возникают в результате *кругового* движения частиц. Это, как доказали братья Вебер, и есть реальное движение в случае волн на воде.

[11] Скопировано из книги Вебера *Wellenlehre*.

[12] См. *Лекции по звуку*, 1-е и 2-е изд., лекция VII.; и 3-е изд., глава I. VIII. Лонгманы.

[13] *Работы Бойля*, издание Берча, стр. 675.

[14] Страница 743.

[15] Красивые перья, образующиеся в результате кристаллизации воды, были успешно сфотографированы профессором Локеттом.

[16] В небольшой книге, озаглавленной "Формы воды", я упоминал, что холодное железо плавает на расплавленном железе. В компании с моим другом сэром Уильямом Армстронгом я неоднократно имел возможность наблюдать этот факт в его работах в Элсвике в 1863 году. Помню, Фарадей впоследствии говорил мне о совершенстве чугунных отливок, которое, вероятно, объясняется разбуханием металла при затвердевании. Помимо этого, я не уделял этому предмету особого внимания; и я знаю, что многие разумные создатели iron сомневаются в факте расширения. Вполне возможно, что твердое вещество плавает, потому что оно не *смачивается* расплавленным железом, а его объем фактически увеличивается за счет капиллярного отталкивания. Благодаря такому действию некоторые мухи свободно летают по воде. Однако при использовании висмута легко лопаются железные бутылки из-за силы затвердевания.

[17] Этот прекрасный закон обычно выражается так: *показатель преломления любого вещества равен касательной к его углу поляризации*. С помощью этого закона и прибора, аналогичного тому, что приведен на странице 15, мы можем легко определить показатель преломления любой жидкости. Поскольку преломленные и отраженные лучи видны, их можно легко заставить сложиться под прямым углом. Таким образом, угол поляризации жидкости может быть определен с высочайшей точностью. Тогда необходимо только найти его естественную касательную, чтобы получить показатель преломления.

[18] Уэвелл.

[19] Удалена с момента написания этих слов.

[20] Единственное известное мне эссе по волновой теории, вышедшее из-под пера американского писателя, - это превосходное эссе президента Барнарда, опубликованное в Отчете Смитсоновского института за 1862 год.

[21] *Работы Бойля*, издание Берча, том i, стр. 729 и 730.

[22] *Верке*, В. xxix. стр. 24.

[23] Определено в Лекции I.

[24] Это обстоятельство не следует упускать из виду при изучении спектров соединений. Можно было бы привести и другие подобные примеры.

[25] В том же случае наблюдалась темная полоса, образующаяся при помещении натрия внутрь лампы. Тогда же впервые была замечена великолепная голубая полоса лития, которую пламя Бунзена не в состоянии погасить.

[26] Нью-Йорк: такой погоды не было более десяти лет. Снег был настолько глубоким, что обычные средства передвижения на некоторое время были приостановлены.

[27] 'Il faut reconnaître que parmi les peuples civilisés de nos jours il en est peu chez qui les hautes sciences aient fait moins de progrès qu'aux États-Unis, ou qui aient fourni moins de grands artistes, de poètes illustres et de célèbres écrivains.' (*De la Démocratie en Amérique*, etc. tome ii. p. 36.)

[28] В этих точках два прямоугольных колебания, в которые исходный поляризованный луч преобразуется гипсовыми пластинками, действуют друг на друга подобно двум прямоугольным импульсам, передаваемым нашему маятнику в лекции IV., один из которых подается, когда маятник находится на пределе своего колебания. Таким образом, вибрация преобразуется во вращение.

[29] Миллиметр равен примерно $1/25$ дюйма.